

**KONSTRUKČNÍ NÁVRH „HLAVY“ NA MOBILNÍ ROBOTY S
VÍCE STUPNI VOLNOSTI PRO MONITOROVÁNÍ OKOLÍ**

**THE CONSTRUCTION DESIGN OF HEAD ON MOBILE
ROBOTS WITH MORE DOF FOR SURROUNDINGS**

Student: Bc. Jiří Šablatura
Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Kárník, CSc.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Konstrukční návrh „hlavy“ na mobilní roboty s více stupni volnosti pro monitorování okolí

The Construction Design of Head on Mobile Robots with More DOF for Surroundings

Student: Bc. Jiří Šablatura
Studijní obor: 2301T013-00 Robotika
Pracoviště: Katedra robototechniky – 354

Zásady pro zpracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu a navrhnete varianty řešení možných koncepcí hlavy na mobilní roboty s více stupni volnosti pro monitorování okolí.
2. Proved'te výběr optimální varianty.
3. Konstrukční návrh vybrané varianty rozpracujte do úrovně sestavných výkresů s využitím CAD systému Pro/ENGINEER.
4. Vypracujte technickou zprávu s potřebnými výpočty a zhodnoťte dosažené výsledky.
5. Závěr.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Pokyny pro zpracování:

Rozsah práce: min. 50 stran textu mimo přílohy

Seznam doporučené literatury:

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. VŠB-TU Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L. - KNOFLÍČEK, R. - MARCINČIN, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.

MENZEL, P. - D'ALUSIO, F. *Robo sapiens: evolution of a new species*. USA, New York, 2000. 239 p. ISBN 0-262-13382-2.

SKAŘUPA, J. - MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. Košice: Vienaľa Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

Datum zadání diplomové práce:

10. listopadu 2008

Akademický rok:

2008/2009



doc. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan

V Ostravě dne 10. listopadu 2008

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Šablatura, J. *Konstrukční návrh „hlavy“ na mobilní roboty s více stupni volnosti pro monitorování okolí*, Ostrava: katedra robototechniky VŠB-TUO, 65 s. Diplomová práce, vedoucí Kárník, L.

Diplomová práce se zabývá návrhem monitorovacího modulu, který je určen jako nástavba pro mobilní roboty. Tento mechanismus je určen pro monitorování okolí a hlavně pro sběr 3D dat pomocí dvou kamer. Vlastní konstrukční návrh je proveden ve formě 3D modelu v programu Pro/ENGINEER a je doplněn o potřebné výpočty.

ANNOTATION OF THESIS

Šablatura, J. *The Construction Design of Head on Mobile Robots with More DOF for Surroundings*, Ostrava: Department of Robotics VŠB-TUO, 65 s. thesis, head Kárník, L.

The thesis is dealing with the construction design of monitoring modul for mobile robot. This mechanism is intended for monitoring of surroundings, and mainly for collecting 3D data by using two cameras. Head on Mobile Robots with More DOF for Surroundings. Construction design is created as 3D model in Pro/ENGINEER software, and includes all necessary calculations.

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	3
1. ÚVOD	6
1.1 MOBILNÍ ROBOTY URČENÉ PRO MONITOROVÁNÍ POD VODOU	7
1.2 MOBILNÍ ROBOTY URČENÉ PRO MONITOROVÁNÍ NA ZEMI.....	8
1.3 MOBILNÍ ROBOTY URČENÉ PRO MONITOROVÁNÍ VE VZDUCHU	9
1.4 MOBILNÍ ROBOTY PŘI VÝZKUMU VESMÍRU	10
1.5 ROBOTY VE FILMU	11
1.6 MONITOROVACÍ SUBSYSTÉM MOBILNÍCH ROBOTŮ.....	12
2. NÁVRH VARIANT MONITOROVACÍ „HLAVY“	15
2.1 POŽADAVKOVÝ LIST.....	16
2.2 VARIANTA A	18
2.3 VARIANTA B	19
2.4 VARIANTA C	20
2.5 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	21
3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY	24
3.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH „HLAVY“	26
3.1.1 KAMERY A PŘENOS VIDEO SIGNÁLU.....	26
3.2 NÁVRH POHONU PRO NÁKLON „HLAVY“	28
3.2.1 NÁVRH UCHYCENÍ BOČNÍCH KAMER.....	30
3.2.2 MALÉ OZUBENÉ KOLO	30
3.3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH UCHYCENÍ „HLAVY“	31
3.3.1 VELKÉ OZUBENÉ KOLO	32
3.3.2 LOŽISKA	32
3.4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VAHADLA	34
3.4.1 NÁVRH POHONU PRO ROTACI „HLAVY“	35
3.4.2 PŘENOS SIGNÁLU	37
3.4.3 ZDROJE ENERGIE.....	38
3.5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH RÁMU	40
3.5.1 UCHYCENÍ VAHADLA K RÁMU	41
3.6 TLUMICÍ SYSTÉM.....	44
3.6.1 VÝBĚR ČLENŮ TLUMICÍHO SYSTÉMU	45
3.6.2 NASTAVENÍ TLUMICÍHO SYSTÉMU	45

3.6.3	NASTAVENÍ TLUMIČOVÝCH BRZD	49
3.7	KRYTOVÁNÍ	51
3.8	SENZORY	52
3.9	NÁVRH ELEKTRICKÉHO ZAPOJENÍ	55
4.	ZÁVĚR	56
	SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK	63
	SEZNAM GRAFŮ	63
	SEZNAM VÝKRESŮ	64
	SEZNAM PŘÍLOH	64

PŘEHLED POUŽITÉHO ZNAČENÍ

a_{ij}	$m \cdot s^{-2}$	zrychlení i-té částí j-tého prvku
a_{ni}	$m \cdot s^{-2}$	normálové zrychlení i-tého prvku
a_{ti}	$m \cdot s^{-2}$	tečné zrychlení i-tého prvku
b_i	mm	šířka i-tého ozubeného kola
d_{ki}	mm	
d_{oi}	mm	
g	$m \cdot s^{-2}$	tíhové zrychlení země
i_{celi}	-	celkový převodový poměr i-tého prvku
i_i^j	-	převodový poměr i-tého převodu j-tého prvku
i_{p1}	-	převodový poměr i-té převodovky
n_{i1}	$ot \cdot min^{-1}$	otáčky na vstupu i-tého převodu
n_{i2}	$ot \cdot min^{-1}$	otáčky na výstupu i-tého převodu, resp. otáčky i-tého motoru
$m_{„název“}$	kg	hmotnost konstrukčního uzlu „název“
m_i	-	modul i-tého ozubeného kola
m_{OKi}	g	hmotnost i-tého ozubeného kola
r_{ij}	m	poloměr i-té částí j-tého prvku
u_{celi}	-	celková účinnost i-tého prvku
u_i^j	-	účinnost i-tého převodu j-tého prvku
u_{mi}	-	účinnost i-tého motoru
u_{pi}	-	účinnost i-té převodovky

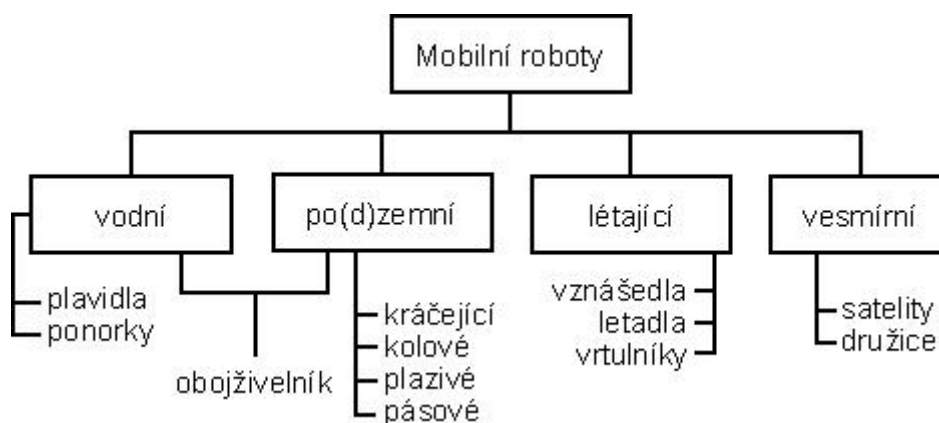
v_{ij}	$m \cdot s^{-1}$	rychlost i-té částí j-tého prvku
v_{ni}	$m \cdot s^{-1}$	normálová rychlost i-tého prvku
v_{ti}	$m \cdot s^{-1}$	tečná rychlost i-tého prvku
z_i	<i>zuby</i>	počet zubů i-tého kola
C	kN	dynamická únosnost ložiska
C_o	kN	statická únosnost ložiska
G_i	N	tíhová síla i-tého prvku
I	A	elektrický proud
J_{OKi}^j	$kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti i-tého ozubeného kola j-tého prvku
J_{pi}	$kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti i-té převodovky
J_{REDi}	$kg \cdot m^2$	redukovaný moment setrvačnosti na hřídeli i-tého motoru
J_{vysi}	$kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti na výstupu i-tého části, resp. moment setrvačnosti, který chceme ovládat
M_{celi}	$Nm; mNm$	celkový moment i-tého motoru
P_{celi}	W	celkový výkon i-tého motoru
P_U	kN	mezní únavové zatížení ložiska
R	Ω	elektrický odpor
U	V	elektrické napětí

a	$\mathbf{0}$	natočení „hlavy“ kolem z-ové osy
b_i	$\mathbf{0}$	náklon kamer „hlavy“ kolem y-nové osy
g	$\mathbf{0}$	náklon (sbíhavost) bočních kamer
e_i	s^{-2}	úhlové zrychlení i-tého prvku
w_i	s^{-1}	úhlová rychlost i-tého prvku

1. ÚVOD

Mobilní robot (MR) je nutné chápat jako samostatné zařízení schopné pohybu, které jak svou činností, tak svou nečinností pomáhá člověku. Jde o výkonné pomocníky, kteří přebírají monotónní a pro člověka mnohdy nebezpečné práce. MR bývají nasazeni jako domácí pomocníci na úklid, ale i jako velmi složití autonomní průzkumníci, kteří pomáhají při výzkumech mimo naši planetu. Jejich využití je tedy pestré a setkáváme se s nimi téměř v každém odvětví lidské činnosti. S rozvojem technologií se však očekává, že budou schopnější a inteligentnější. Jejich hlavní výhodou je, že je můžeme využít i v takovém prostředí, kde je člověk omezen nebo ohrožen mnoha okolnostmi a hrozí mu velké riziko újmy na zdraví či dokonce smrti.

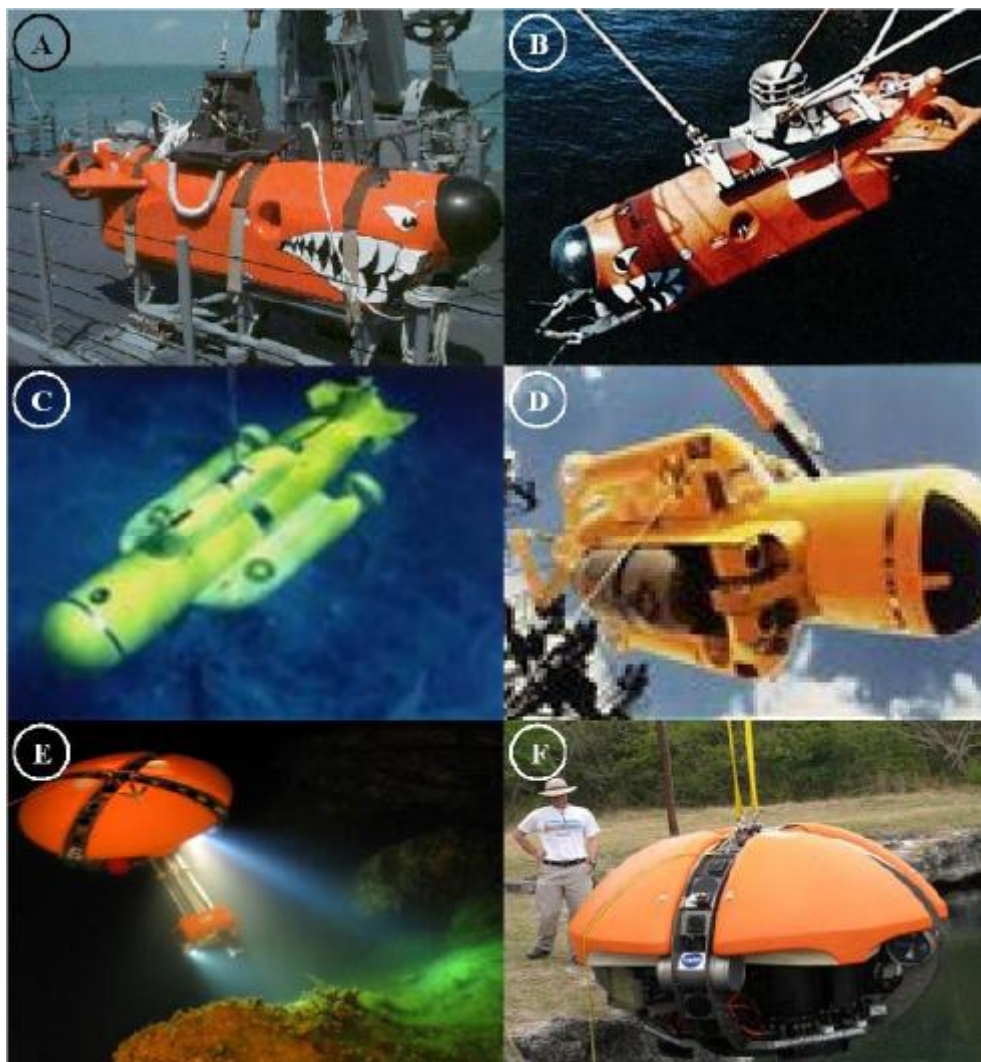
Důležitým faktorem při tvorbě MR je prostředí ve kterém se budou pohybovat. Z obrázku (Obr. č. 1) je patrné, že každé prostředí má své specifické vlastnosti, které ve velké míře ovlivňují celou konstrukci. Dalším faktorem při tvorbě MR je cíl, pro který bude určen. Jednotlivým typům MR se věnuji v samostatných podkapitolách, kde je dělím podle prostředí na vodní, po(d)zemní, létající, vesmírné MR, a také na MR, kteří vystupují ve filmových adaptacích literárních děl věnovaných světům s roboty.



Obr. č. 1 Rozdělení mobilních robotů dle jejich oblasti nasazení

1.1 MOBILNÍ ROBOTY URČENÉ PRO MONITOROVÁNÍ POD VODOU

K této kategorii patří převážně robotické ponorky (Obr. č. 2), které jsou bez lidské posádky. Jedná se o typ MR, který je pevně spojen se svou mateřskou lodí pomocí napájecího drátu, jehož součástí je i komunikační drát. Takto MR získává dost energie na provoz pod vodou a zároveň mu tato „pupeční šňůra“ slouží k bezpečnému návratu zpět na palubu v případě poruchy. Jako příklad zde uvádím dálkově řízenou ponorku AN/SQL-48 [1.] (Obr. č. 2A,B) a ponorku PAP MK 5 [2.] (Obr. č. 2C,D). Obě jsou určené pro hledání a likvidaci podvodních min. Jiným typem MR spadajícím do této kategorie je autonomní robot DEPTHX [3.] (Obr. č. 2E,F), který vyvinula NASA pro průzkum moří na Jupiterově měsíci Europa.



Obr. č. 2 Výběr vodních mobilních robotů

1.2 MOBILNÍ ROBOTY URČENÉ PRO MONITOROVÁNÍ NA ZEMI

Konstrukčně jsou MR určené pro průzkum na jiných planetách totožné s těmi, které jsou běžně používány na naší planetě. Rozdíl je pouze v tom, že jsou dimenzovány a navrhovány pro podmínky dané planety, na níž mají provádět výzkum. Lze se s nimi setkat v podobě inspekčních robotů potrubí, nemocničních robotů a robotů pro průzkum geologicky velmi aktivních míst.

MR pro detekci min [4.] (Obr. č. 3A) v nerovném terénu z Laboratoří aplikované fyziky (The Johns Hopkins University). „Zdravotní sestra“ [5.] (Obr. č. 3B), která je vyvíjena evropskými vědci, projekt je financován v rámci IWARD. Humanoidní robot ASIMO [6.] (Obr. č. 3C), vyrobený společností Honda.



Obr. č. 3 Výběr po(d)zemních mobilních robotů

1.3 MOBILNÍ ROBOTY URČENÉ PRO MONITOROVÁNÍ VE VZDUCHU

Bezpilotní průzkumné letouny (Obr. č. 4) se uplatnily především v armádách. Jako příklad této technologie lze uvést dálkově řízený bezpilotní průzkumný letoun Sojka [7.] (Ilustrace 3A,B), který je využíván právě v naší armádě (ČA). Dále lze uvést bezpilotní letouny americké armády [8.] Predátor (Obr. č. 4C) a Global Hawk (Obr. č. 4D). Nakonec uvádím dva různé autonomní roboty v podobě vrtulníků ze Stanfordské University [9.] (Obr. č. 4E,F).

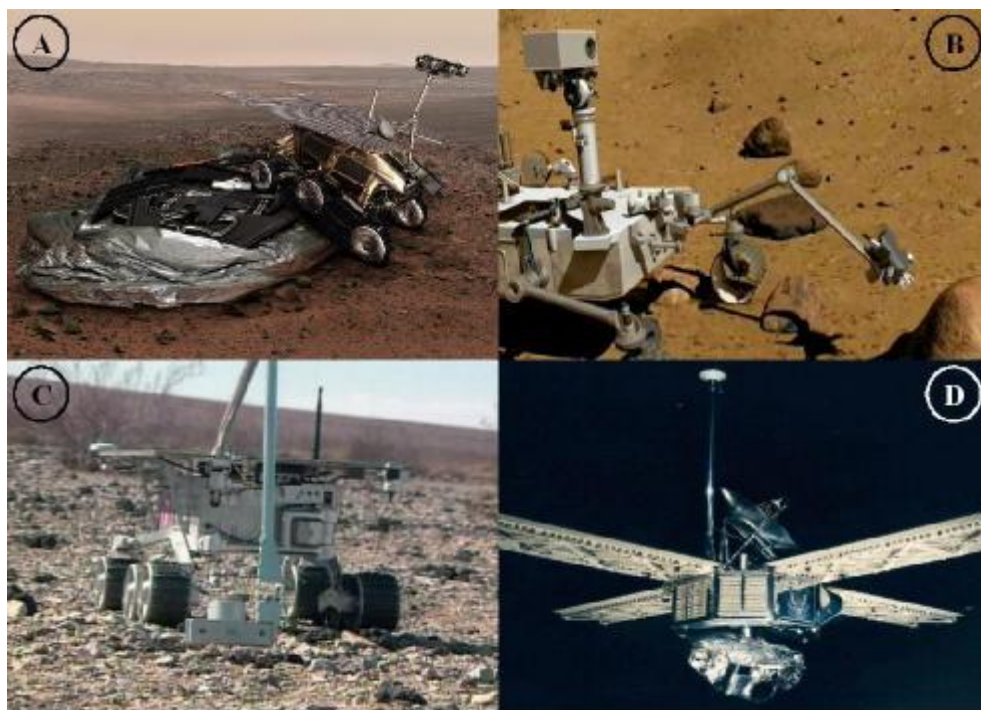


Obr. č. 4 Výběr létajících mobilních robotů

1.4 MOBILNÍ ROBOTY PŘI VÝZKUMU VESMÍRU

V získávání informací mimo naši planetu se uplatnily roboty mobilní, a také sondy a satelity. U sond a satelitů je podstatná především statická kamera, kdežto u mobilních robotů jsou v mnoha případech podstatné různé kinematické struktury s kamerou jako efektem. Tuto kinematickou strukturu můžeme definovat jako jistý druh monitorovací hlavy MR.

MR Exomars (Obr. č. 5A) od ESA [10.] je určený pro průzkum Marsu a Měsíce a jeho odlet je plánován na rok 2013. Jeho kolega (Obr. č. 5B) vyvíjený v NASA [11.] je určen k průzkumu Marsu s odletem naplánovaným na rok 2009. Současný průzkum Marsu zajišťuje MR Rocky 7 od NASA (Obr. č. 5C), který již několik let přesluhuje. Posledním z uvedených průzkumníků je sonda Mariner 7, která v roce 1969 pořídila 126 snímků planety Marsu (Obr. č. 5D).

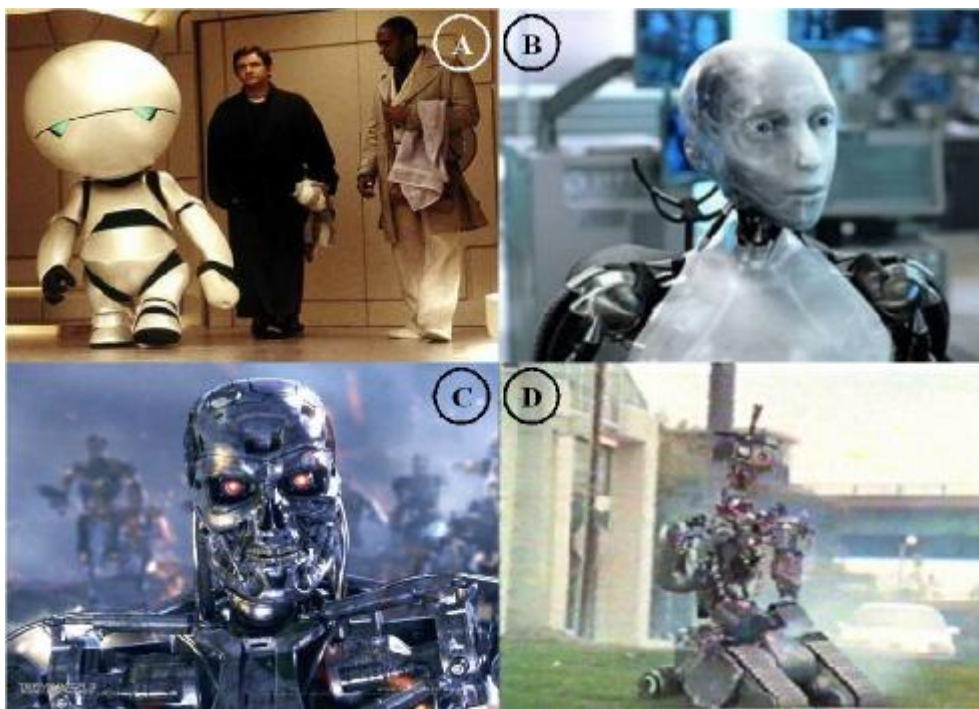


Obr. č. 5 Výběr vesmírných mobilních robotů

1.5 ROBOTY VE FILMU

S roboty vyspělého typu (Obr. č. 6) se můžeme setkat buď v knihách, nebo rovnou na filmových plátnech. Nejčastěji se přitom setkáváme s vizemi humanoidních robotů a s nimi spojenou otázkou: *robot versus člověk*. V historii kinematografie se můžeme setkat s verzemi loutek a převleků, které se s postupně vyvíjející technikou mění na dálkově ovládané jednoduché roboty, avšak i ti pomalu mizí a jsou nahrazováni dokonalejšími technologiemi a jsou vytvářeni za pomoci počítačových kreslících studií.

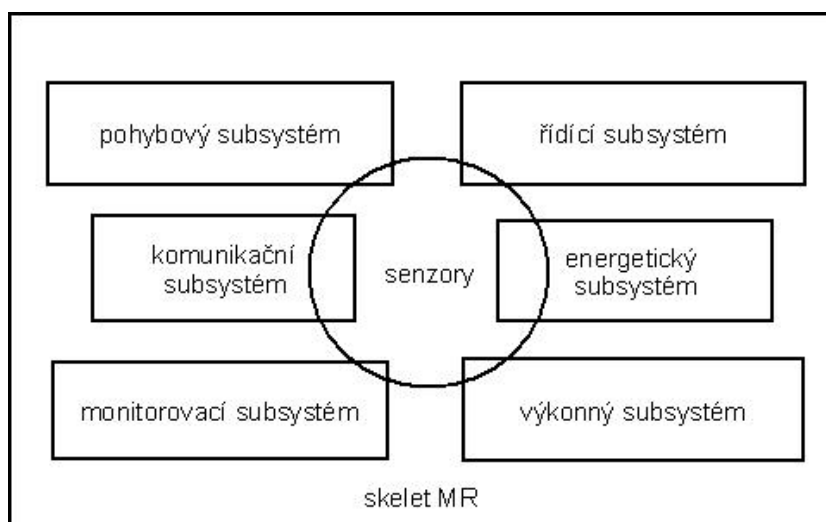
Robot Marvin[12.] (Obr. č. 6A) z filmu *Stopařův průvodce po galaxii* (2005). Robot Sonny [13.] (Obr. č. 6B) z filmu *Já, robot* (2004). Terminátor [14.] (Obr. č. 6C) ze stejnojmenného filmu *Terminátor 2: Den zúčtování* (1991) a nebo robot Johny [15.] (Obr. č. 6D) z filmu *Číslo 5 žije* (1986).



Obr. č. 6 Výběr filmového zpracování robotů

1.6 MONITOROVACÍ SUBSYSTÉM MOBILNÍCH ROBOTŮ

Monitorovací subsystém MR je jedním ze souboru subsystémů (Obr. č. 7), kterými jsou MR tvořeni. Hlavní a důležitou částí MR je jeho vlastní skelet, na který jsou jednotlivé subsystémy instalovány. Pohybový subsystém je tvořen vhodnou koncepcí kinematického řešení pohybu a pohonů, jíž dosáhneme dané mobility MR. Řídicí subsystém se stará o rozhodování MR v jednotlivých situacích a je mnohdy vybaven jistým stupněm umělé inteligence, která vyhodnocuje všechna data. Ta získává ze senzorů, které jsou rozmístěny v každém subsystému včetně samotného skeletu MR. Další data jsou získávána z monitorovacího a komunikačního subsystému. Monitorovací subsystém může být vybaven senzory nebo několika kamerami pro vizuální kontakt s daným prostředím. Komunikační subsystém se stará o přenos dat mezi MR a operačním centrem. Výkonový subsystém je tvořen specifickou kinematickou strukturou pro plnění funkcí MR (například rameno s efektořem pro odběr vzorků). Každý subsystém může být vybaven dalšími přístroji pro plnění všech požadavků, které jsou kladeny na MR.



Obr. č. 7 Obecné rozdělení subsystému mobilního robota

Monitorovací subsystém mnohdy využíváme nejen pro vizuální kontakt s prostředím, ve kterém se MR nachází, ale i pro zjištění 3D metrických dat, a proto na monitorovací hlavu umísťujeme různá zařízení pro monitorování okolí, od laserového scanneru až po různý počet kamer. Na základě počtu kamer můžeme rozdělit vidění na tři druhy, a to na vidění mono, stereo a sférické. U mono vidění (Obr. č. 8), respektive u aplikace jedné kamery, získáváme pohled na krajinu, ale nedokážeme rozpoznat v jaké

interakci jsou jednotlivé objekty mezi sebou, tedy nezjistíme jaká je mezi nimi přesná vzdálenost. Naopak u stereo vidění (Obr. č. 9) [16.] získáváme podstatně více informací o vzdálenostech jednotlivých objektů v celé scéně. Sférickým viděním (Obr. č. 10) získáváme zcela jiný, ucelený pohled na okolí.



Obr. č. 8 Snímek jedné kamery krajiny Marsu z MR Spirit (NASA, 2004)



Obr. č. 9 Obraz pořízený levou a pravou kamerou (Point Grey Research Inc.)



Obr. č. 10 Sférický pohled na krajinu (Point Grey Research Inc.)

Z předešlých informací lze vyvodit, kolik potřebujeme kamer k získání požadovaného pohledu na krajinu. Kamery lze rozdělit do skupin podle jejich použití, a to na kamery užívané v domácím prostředí a venkovním prostředí. Rozdíl mezi nimi je ten, že venkovní jsou opatřeny krytem kvůli nepříznivým podmínkám. V mobilní robotice jsou upřednostňovány kamery digitální, a ty lze dělit dle jejich specifických vlastností jako je kvalita obrazu, spotřeba energie, váha, rozměr a další.

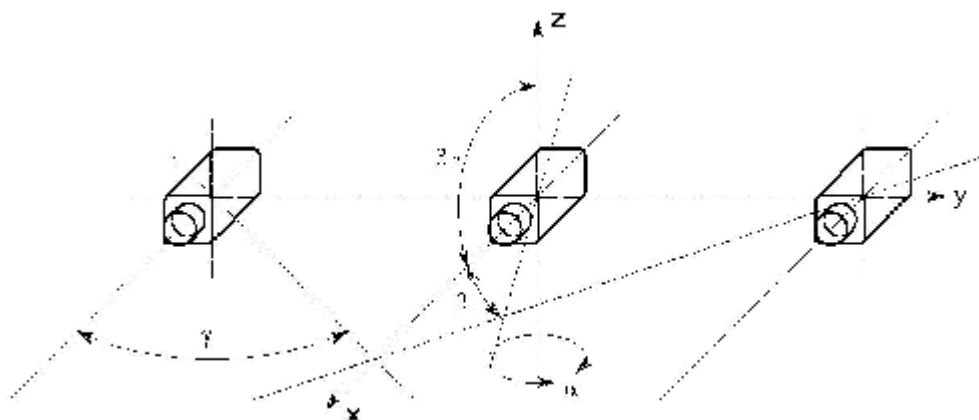
2. NÁVRH VARIANT MONITOROVACÍ „HLAVY“

Námětem diplomové práce je návrh monitorovacího subsystému určeného pro MR, jehož plný název zní: Konstrukční návrh „hlavy“ na mobilní roboty s více stupni volnosti pro monitorování okolí. Jedná se o atypickou konstrukci, protože využívá více stupňů volnosti než je běžné, tj. 3 a více. V prvním kroku je potřeba zajistit vyrovnaní monitorovacího systému do vodorovné polohy podle toho, jak se MR bude naklánět během provozu, čímž zajistíme ovládání dvou stupňů volnosti. Další krok se týká monitorování okolí, otáčení kamer okolo hlavní osy monitorovací „hlavy“, a naklánění kamer ve svislém směru, čímž získáváme další dva stupně volnosti. V neposlední řadě je nutné zajistit sbíhavost krajních kamer do osy středové kamery, čímž získáváme dvakrát po jednom stupni volnosti. Součtem všech těchto stupňů volnosti definujeme stupně volnosti „hlavy“ na 6. Upřesnění počtu volností je pak specifikováno v samostatné podkapitole věnované požadavkům kladeným na konstrukci.

2.1 POŽADAVKOVÝ LIST

Obecné parametry:

outdoor x indoor :	kombinace
režim den / noc :	ano
MH jako modul :	ano
krytování celku :	ne
vodotěsnost :	ne
snadná dekontaminace :	ano



Obr. č. 11 Možnosti natáčení kamer

Specifické parametry:

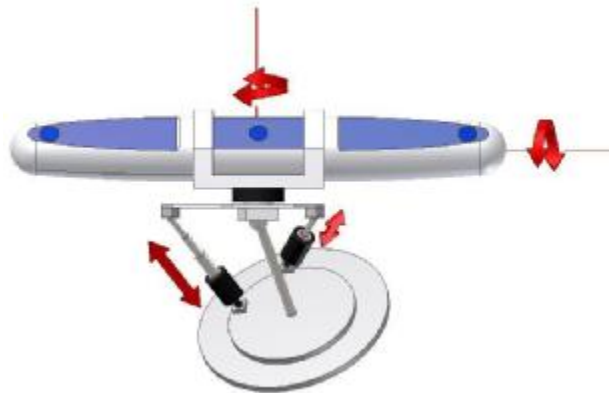
Maximální hmotnost hlavy :	minimalizovat kg
Maximální příkon do hlavy :	nespecifikováno W
Maximální rozměry hlavy :	minimalizovat mm (šířka x délka x výška)
Maximální úhlové zrychlení :	20 s^{-2}
Maximální úhlová rychlost :	4 s^{-1}
Maximální zrychlení :	2 ms^{-2}
Maximální rychlost :	1 ms^{-1}
Rotace hlavy kolem osy z :	$360^\circ (\alpha)$

Rotace hlavy kolem osy y :	$-60^{\circ} \div +90^{\circ} (\beta)$
Sbíhavost bočních kamer :	$+45^{\circ} \div +90^{\circ} (\gamma)$ <i>mechanické nastavení</i>
Počet kamer :	1 centrální, 2 krajní v jedné rovině
Typ kamer :	stávající zařízení na katedře
Rotace kamer kolem své osy z :	ano
Vzdálenost krajních kamer :	500 mm
Zajistit vyrovnávání monitorovací hlavy při náklonu mobilního robotu	
Maximální náklon MR :	$\pm 45^{\circ}$
Využití stávajícího kamerového vybavení katedry robotiky	

Na základě těchto požadavků vytvoříme návrhy mechanismů pro jejich plnění. Tyto návrhy je nutné mezi sebou porovnat a vybrat optimální. Tyto návrhy je pak ještě nutné mezi sebou porovnat a vybrat právě ten, kterému se bude věnovat samostatná kapitola konstrukční návrh.

2.2 VARIANTA A

První návrh (Obr. č. 12) monitorovací „hlavy“ se opírá o možnost využití vyrovnávací plošiny, která se za pomoci minimálně dvou lineárních pohybů uvede do vodorovné polohy. Na tuto vyrovnávací rovinu se dále umístí samotný mechanismus, který splní požadavky kladené na rozsah pohybů „hlavy“.



Obr. č. 12 Vize varianty A

Počet pohonů (K1) :

- a. 1x rotační (360°)
- b. 1x rotační (-60° ÷ +90°)
- c. 2x translační

Energetických zátěž (K2) :

- a. Jen při aktivaci pohonu
- b. Jen při aktivaci pohonu
- c. Automaticky při naklonění MR

Přesnost (K3) :

Přesnost polohování daná převážně jednotkami

Konstrukce (K4) :

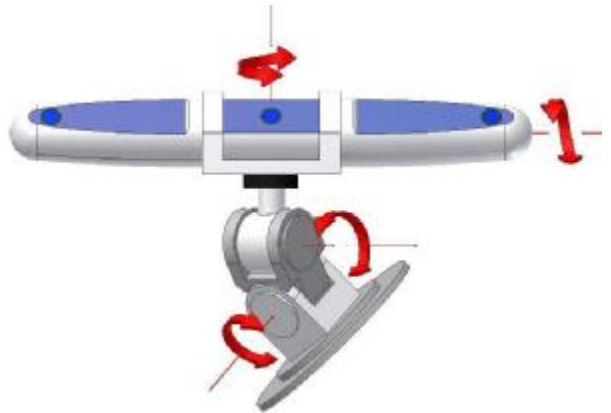
- 1x monitorovací hlava
- 1x vyrovnávací plošina
- 1x středová podpěra

Náročnost výroby (K5) :

Střední výrobní náročnost

2.3 VARIANTA B

Velmi snadné polohování vyvažovací roviny dostaneme za pomoci dvou rotačních jednotek (Obr. č. 13), které nám budou taktéž vyrovnávat naklání MR. Monitorovací mechanismus kamer je stejný jako u předešlé varianty.



Obr. č. 13 Vize varianty B

Počet pohonů (K1) :

- a. 1x rotační (360°)
- b. 1x rotační ($-60^\circ \div +90^\circ$)
- c. 2x rotační ($\pm 45^\circ$)

Energetických zátěž (K2) :

- a. Jen při aktivaci pohonu
- b. Jen při aktivaci pohonu
- c. Automaticky při naklonění MR

Přesnost (K3) :

Přesnost polohování daná rotačními jednotkami

Konstrukce (K4) :

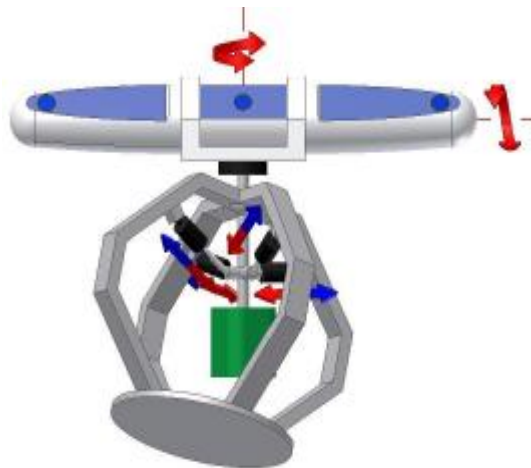
- 1x monitorovací hlava
- 1x vyrovnávací plošina
- 1x hlavní rám

Náročnost výroby (K5) :

Vyšší výrobní náročnost

2.4 VARIANTA C

Tato varianta (Obr. č. 14) se podstatně liší od předchozích, a to již z toho důvodu, že k vyrovnávání náklonu MR není zapotřebí žádného pohonu, ale pouze části hmotnosti konstrukce s dodatečnými tlumiči pro zajištění nerozkmitání celé monitorovací „hlavy“ během jízdy po nerovném terénu. Monitorovací mechanismus kamer je stejný jako u předešlé varianty.



Obr. č. 14 Vize varianty C

Počet pohonů (K1) :

- a. 1x rotační (360°)
- b. 1x rotační ($-60^\circ \div +90^\circ$)
- c. 4 translační (např. tlumiče)

Energetických zátěží (K2) :

- a. Jen při aktivaci pohonu
- b. Jen při aktivaci pohonu
- c. Zabraňují rozhoupání monitorovací „hlavy“ při naklánění MR

Přesnost (K3) :

Závisí na přesném umístění těžiště monitorovací „hlavy“

Konstrukce (K4) :

- 1x monitorovací hlava
- 1x hlavní rám

Náročnost výroby (K5) :

Střední výrobní náročnost

2.5 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

K posouzení jednotlivých variant je potřeba stanovit příslušnou hodnotu vah kritérií, které nám pomohou při výběru optimální varianty. Pro určení velikosti jednotlivých vah kritérií, je použita metoda porovnání v trojúhelníku páru. Ta je rozpracována v pěti tabulkách (Příloha 1), které byly podány pěti expertům. Tyto podklady byly zpracovány (zprůměrovány) dále do přehlednější tabulky (Tab. č. 1), ze které bylo stanoveno, co je prioritní, a tedy důležitější, a na co je nutno klást větší důraz v návrhu konstrukce. Pořadí bylo stanoveno od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Kritéria jsou volena následovně :

- počet pohonů (K1)
- energetická zátěž (K2)
- přesnost (K3)
- konstrukce (K4)
- náročnost výroby (K5)

Specialista	Kritérium				
	1	2	3	4	5
1.	1,4	1,7	1,2	1,3	1,4
2.	1,3	1,4	1,2	1,8	1,3
3.	1,4	1,4	1,3	1,7	1,2
4.	1,1	1,2	1,8	1,6	1,3
5.	1,6	1,6	1,1	1,5	1,2
Celkem	6,8	7,3	6,6	7,9	6,4
B_j	1,36	1,46	1,32	1,58	1,28

Tab. č. 1 Hodnoty kritérií vah

Tyto hodnoty jsou jen jedním kritériem při výběru optimální varianty. Druhým a též důležitým kritériem je známka, kterou přiřadíme jednotlivým variantám. K objektivnímu posouzení je dobré použít univerzální vzorce, které posoudí danou variantu podle posuzovaného kritéria.

Definování parametrů hodnotové analýzy k jednotlivým kritériím:

- počet pohonů (K1)

$$H_{K1} = 4 - \frac{R + 3 \cdot T - \frac{T_p}{2}}{P_C}$$

- energetická zátěž (K2)

$$H_{K2} = 1 - \frac{P_C - P_A}{R + 3 \cdot T - \frac{T_p}{2}}$$

- přesnost (K3)

$$H_{K3} = 5 - \frac{3 \cdot R + T - T_p}{R + T + T_p}$$

- konstrukce (K4)

$$H_{K4} = \frac{R + T + T_p}{Hl}$$

- cenová rozvaha (K5)

Zde volím parametry na základě složitosti konstrukce.

Vysvětlivky:

R - počet rotačních pohonů v konstrukci

T - počet translačních pohonů v konstrukci

T_p - počet tlumících prvků v konstrukci

P_C - celkový počet pohonů v konstrukci

P_A - celkový počet aktivních pohonů pro vyrovnávání náklonu robotu za provozu

Hl - počet hlavních komponentů

		Počet pohonů		Energetická zátěž		Přesnost		Konstrukce		Cenová rozvaha		Σ dílčích pořadí		Pořadí varianty
		Kv	1,36	1,46	1,32	1,58	1,28	35	100%	Ideální				
VARIANTA	D	2	2,72	1,33	1,95	3	3,96	2	3,16	3	3,84	15,63	44,6%	2.
	E	3	4,08	2	2,92	2	2,64	1,3	2,05	2	2,56	14,25	40,7%	3.
	F	3,75	5,1	4	5,84	4	5,28	3	4,74	4	5,12	26,08	74,5%	1.

Tab. č. 2 Hodnotová analýza variant

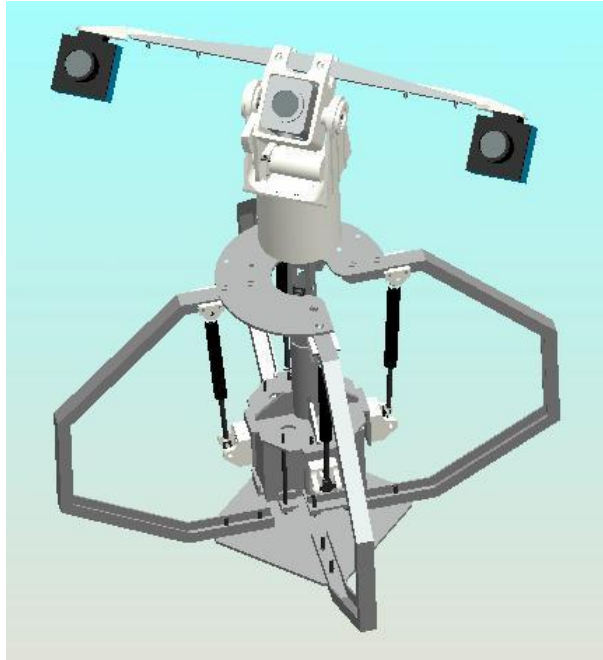
Z hodnotové analýzy tedy vyplývá, že optimální varianta při daných kritériích je varianta C, která je na tom o 30 procent lépe než ostatní varianty. Dále je z hodnotové analýzy patrné (Tab. č. 2), že varianty A a B jsou si velmi podobné.

3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Průběžné výpočty potřebné při modelování celé konstrukce jsou provedeny ve vlastním programu vytvořeném ve Microsoft Visual Studio 2008 za pomoci základních znalostí programování v jazyku Basic, program „Obecný návrh rotačního pohonu“ verze 1.0 (Obr. č. 15), který umožňuje základní výpočet pro návrh pohonu dle metodiky výpočtu parametrů na hřídel motoru. Jednotlivé parametry jsou pak k dispozici v náhledu a budou použity při výběru jednotlivých pohonů konstrukce.

Obr. č. 15 Okno základního výpočtu

Konstrukční návrh celku (Obr. č. 16) si rozdělíme na více částí tak, abychom mohli začít konstrukčně řešit celek od zadaných parametrů požadavkového listu. Rozdělení provedeme na konstrukční uzly (KU) a to na KU „hlavy“ (kap. 3.1), dále na KU úchytu „hlavy“ (kap. 3.3), KU vahadla (kap. 3.4) a KU rámu (kap. 3.5). Celek je pak vybaven tlumicím systémem (kap. 3.6) a senzory (kap. 3.7).

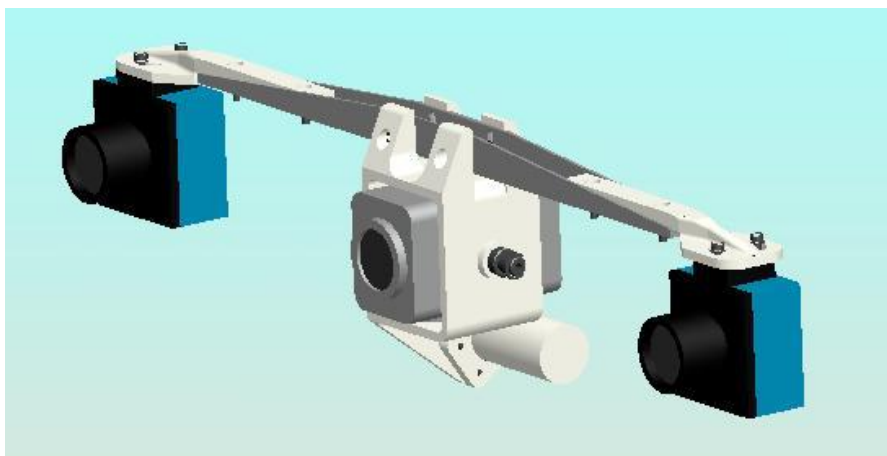


Obr. č. 16 Celkový náhled na konstrukci

Aby celá konstrukce byla co nejlehčí, jsou použity následující materiály na hlavní díly celé konstrukce, a to plast ABS [17.] (Příloha I), hliníkové profily a pro spojovací součástky (šrouby, matice a atd.) materiál uhlíkové oceli pevnostní třídy 5,6 dle normy ISO 898-1 (EN20898).

3.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH „HLAVY“

Hlavní požadavky kladené na tento KU (Obr. č. 17) jsou: umístění 3 kamer tak, aby byla jedna středová a dvě krajní od sebe vzdáleny 500 mm (250mm od středu). Dále možnost vždy před uvedením do provozu nastavit a zajistit náklon bočních kamer pro sběr 3D metrických dat. Na „hlavu“ se dále namontuje pohon pro požadovanou rotaci náklonu ($+90^\circ \div -60^\circ$) za pomoci ozubeného soukolí, jehož druhé kolo je součástí úchytu „hlavy“.



Obr. č. 17 Monitorovací „hlava“

3.1.1 KAMERY A PŘENOS VIDEO SIGNÁLU

Kamery, které byly vybrány a jsou využívány katedrou robototechniky jsou typ EQ2700 [18.] (Obr. č. 18) s podrobnějšími technickými vlastnostmi uvedenými v příloze (Příloha III) a DFK 31AF03 [19.] (Obr. č. 19) s podrobnějšími technickými vlastnostmi v další příloze (Příloha IV). Pro přenos video signálu typu EQ2700 se využívá miniaturní vysílač GigaLink s audiem typ GIGAMINIA-T (kap. 3.7)

Výběr vlastností kamery EQ2700

- 27 x optický a 10 x digitální zoom
- automatický IR-cut filtr
- vysoká IR citlivost
- asférický zoom objektiv
- integrovaná detekce pohybu
- WDR - Wide Dynamic Range
- DSS – zvýšená světelná citlivost s funkcí digitální pomalé závěrky
- vzdálené ovládání s RS-232 rozhraním a vzdálené ovládání DC objektivu



Obr. č. 18 Kamera EQ2700

Výběr vlastností kamery DFK 31AF03

- FireWire barevná kamera
- 1/3" CCD, progresivní skenování
- 30 snímků / s
- IEEE 1394
- protokol: DCAM 1.31



Obr. č. 19 Kamera DFK 31AF03

3.2 NÁVRH POHONU PRO NÁKLON „HLAVY“

Parametry pro definování pohonu jsou získány z CAD systému Pro/Engineer 2.0 Wildfire. Jedná se především o momenty setrvačností a rozměry. Výpočet byl proveden v již zmíněném programu. Pro pohon volím elektrický motor s převodovkou (Tab. č. 3) typu 25GA-370CA od společnosti Shenguang Science & Technology Co [21.].

25GA-370CA	U	=	12	V
	I	=	0.3	A
	n	=	125	ot·min ⁻¹
	P	=	1.28	W
	i	=	1 : 46.9	
	M	=	98	mNm

Tab. č. 3 Parametry pohonu „hlavy“

Základní jednotky: kg, m, s

Vstupní pohybové parametry

Poloměr : $r_{11} = 0,06$ m

Otáčky na vstupu: $n_{11} = 30$ ot/min

Úhlová rychlost: $w_{11} = 3,143$ s⁻¹

Úhlové zrychlení: $e_{11} = 16,667$ s⁻²

Rychlost na vstupu: $v_{11} = 0,189$ ms⁻¹

Akcelerace na vstupu: $a_{11} = 1$ ms⁻²

Parametry převodovky pohonu

Převodový poměr: $i_{p1} = 46,9$ -

Moment setrvačnosti převodovky: $J_{p1} = 1 \cdot 10^{-7}$ kgm²

Účinnost převodovky: $u_{p1} = 0,7$ -

Další zátěžné momenty na výstupu

Moment setrvačnosti na výstupu: $J_{vys1} = 0,002662$ kgm²

Parametry převodu

Moment setrvačnosti OK1: $J_{OK11}^1 = 1,46 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2$

Moment setrvačnosti OK2: $J_{OK12}^1 = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$

Převodový poměr převodu 1: $i_1^1 = 6 -$

Účinnost převodu 1: $u_1^1 = 1 -$

Výsledky

Účinnost motoru: $u_{m1} = 0,6 -$

Redukovaný moment na hřídel motoru: $J_{RED1} = 1,351 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2$

Celkový převodový poměr: $i_{cel1} = 281,4 -$

Celková účinnost převodu: $u_{cel1} = 0,7 -$

Otáčky na hřídeli motoru: $n_{12} = 12060 \text{ ot/min}$

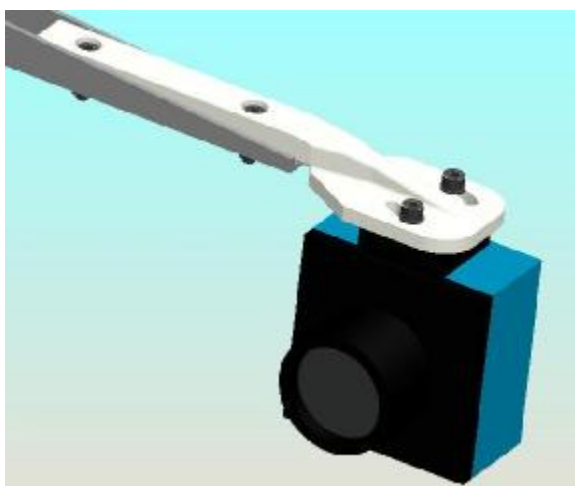
Moment na hřídeli motoru: $M_{cel1} = 0,000905 \text{ Nm}$

Moment na hřídeli motoru: $M_{cel1} = 0,905 \text{ mNm}$

Potřebný výkon motoru: $P_{cel1} = 1,143 \text{ W}$

3.2.1 NÁVRH UCHYCENÍ BOČNÍCH KAMER

Na návrh uchycení bočních kamer (Obr. č. 20) je kladen požadavek, aby bylo možné nastavit jejich sbíhavost v rozmezí 45° až 90° . Nastavení se provede vždy před uvedením do provozu.



Obr. č. 20 Uchycení bočních kamer

3.2.2 MALÉ OZUBENÉ KOLO

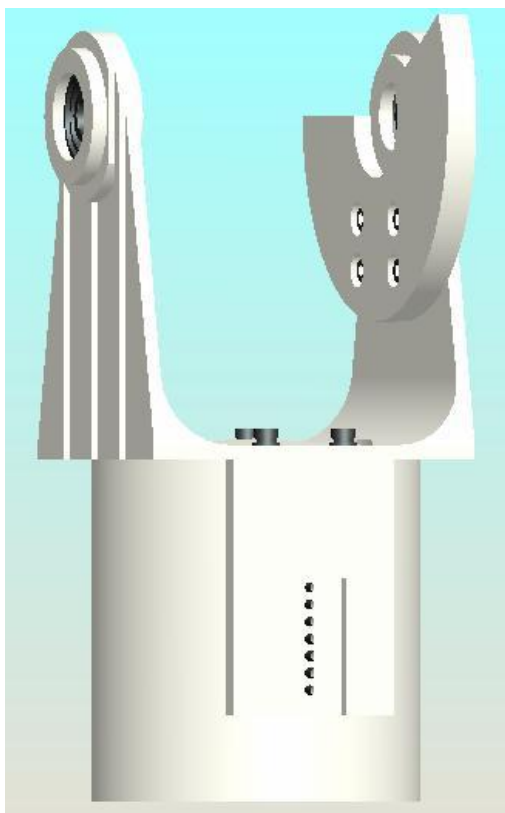
Z toho důvodu, že u plastových materiálů chybí některé důležité parametry pro výpočet ozubených kol, volím rozměry malého ozubeného kola (Tab. č. 4) bez výpočtu, pouze na základě svých zkušeností. Je tedy nezbytné je v provozu nejprve otestovat a případně upravit tak, aby byla zajištěna požadovaná funkce.

OK malé	m	=	1	-
	z	=	20	zubů
	d ₀	=	20	mm
	d _k	=	22	mm
	b	=	9	mm
	m _{OK}	=	3,5	g

Tab. č. 4 Základní parametry malého ozubeného kola

3.3 KONSTRUKČNÍ NÁVRH UCHYCENÍ „HLAVY“

Jelikož je na tuto část konstrukce (Obr. č. 21) kladen jeden z nejdůležitějších požadavků, a sice možnost natočení hlavy o 360° , je nutné vyřešit přenos signálů z rámu, respektive z MR na „hlavu“ a zpět. A to tak, aby nedošlo k zamotání potřebné kabeláže při libovolném otáčení „hlavy“. Proto pohon pro požadované natočení, není součástí tohoto konstrukčního uzlu, nýbrž celku vahadla, a to z důvodu napájení a tím snížení počtu kabelů pro „hlavu“.



Obr. č. 21 Konstrukční řešení úchytu „hlavy“

V tomto konstrukčním uzlu jsou řešena ložiska a velké ozubené kolo a dále přenos signálu na „hlavu“ a zpět. Přenosu signálu se věnuje samostatná kapitola (kap. 3.4.2).

3.3.1 VELKÉ OZUBENÉ KOLO

U tohoto ozubeného kola jsou parametry (Tab. č. 5) opět voleny na základě zkušeností jako u volby parametrů malého ozubeného kola (kap. 4.1.4).

OK velké	m	=	1	-
	z	=	120	zubů
	d ₀	=	120	mm
	d _k	=	122	mm
	b	=	9	mm
	m _{OK}	=	54	g

Tab. č. 5 Základní parametry velkého ozubeného kola

3.3.2 LOŽISKA

Z důvodu úspory místa, konstrukčního řešení a umístění pohonu v útrokách vahadla a zároveň odlehčení míst v místech ložiska jsou na místo klasických kuličkových, popř. válečkových typů ložisek použity radiální [22.] (Obr. č. 22) a axiální [23.] (Obr. č. 23) jehlová ložiska a pro uchycení „hlavy“ se použije klasické kuličkové ložisko.

Výpočet radiálního jehlového ložiska HK 6012

Parametry ložiska:

$$F_w = 60 \text{ mm}; \quad D = 68 \text{ mm}; \quad C = 32 \text{ mm}$$

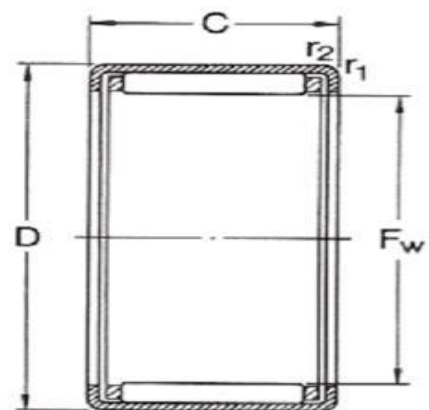
$$\text{Dynamická únosnost:} \quad C = 17,6 \text{ kN}$$

$$\text{Statická únosnost:} \quad C_0 = 32 \text{ kN}$$

$$\text{Mezní únavové zatížení:} \quad P_U = 3,8 \text{ kN}$$

$$\text{Přípustné otáčky:} \quad n_l = 4300 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{Hmotnost:} \quad m_{lr} = 0,049 \text{ kg}$$



Obr. č. 22 Řez radiálním jehlovým ložiskem

Výpočet radiálního jehlového ložiska AXK 6085

Parametry ložiska:

$$d = 60 \text{ mm}; \quad D = 85 \text{ mm}; \quad D_w = 3 \text{ mm}$$

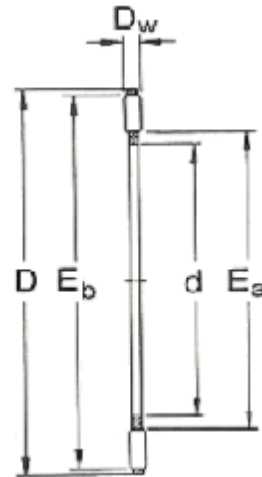
$$\text{Dynamická únosnost:} \quad C = 37,5 \text{ kN}$$

$$\text{Statická únosnost:} \quad C_0 = 232 \text{ kN}$$

$$\text{Mezní únavové zatížení:} \quad P_U = 28,5 \text{ kN}$$

$$\text{Připustné otáčky:} \quad n_l = 2200 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{Hmotnost:} \quad m_{lr} = 0,033 \text{ kg}$$



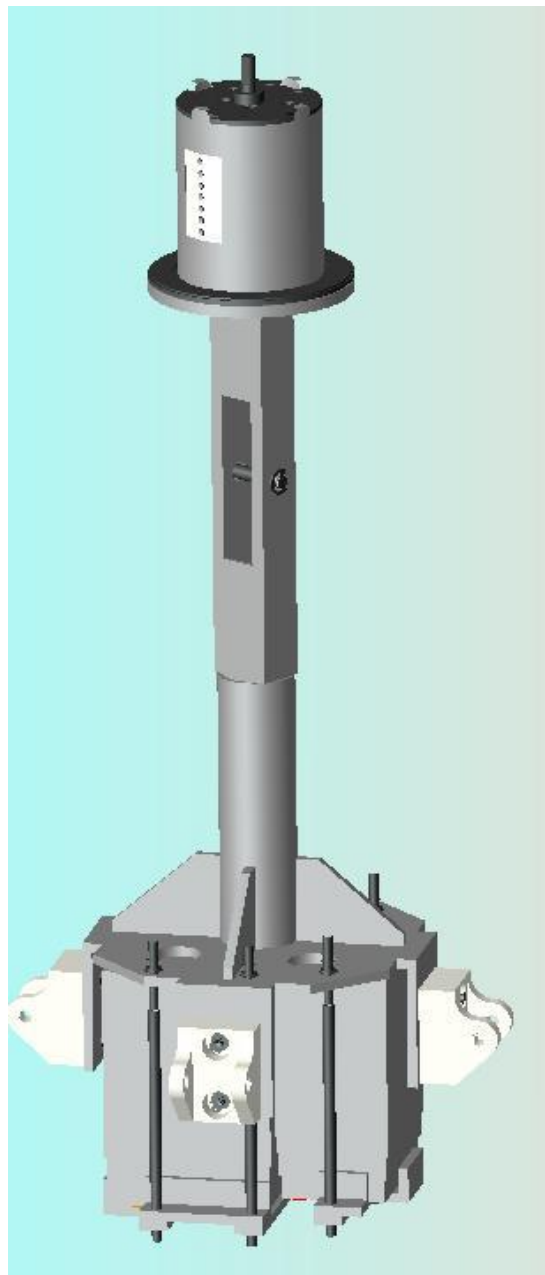
Obr. č. 23 Řez axiálním jehlovým ložiskem

Výpočet těchto ložisek provedeme v programu MITCalc (ver.1.4) a výsledky jsou umístěny v příloze (Příloha V). Návrh ložiska HK6012 byl ve výpočtu zaměněn za typ NK 60/25. tato záměna při výpočtu je dána z důvodu, že MITCalc nezná typ HK 6012. Výběr těchto druhů ložisek je z důvodu rozměrové dispozice vahadla a jsou tedy pro tuto aplikaci velmi předimenzovány.

Pro uchycení hlavy volím ložisko 6000 ČSN 02 4630 a výpočet je opět proveden v MITCalcu s výsledky v příloze (Příloha V).

3.4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VAHADLA

Velmi důležitou roli v celé konstrukci sehrává samostatný návrh vahadla. To je nutné navrhnout tak, abychom byli schopni využít tíhové síly Země. Z konstrukce vahadla (Obr. č. 24) je patrné, že jsou akumulátory (kap. 3.4.3) uchyceny právě ve spodní části vahadla abychom co nejlépe využili jejich celkovou hmotnost. Taktéž jsou v této části přichyceny držáky na tlumičové brzdy (kap.3.6). V horní části je řešen úchyt vahadla na kostku pomocí čepu, která má stejné vlastnosti jako kardanový spoj a tím nám zaručí libovolný náklon mobilního robotu ($\max \pm 45^\circ$ ve dvou rovinách na sebe kolmých a společně kolmé na rovinu vyrovnávací). Nejhornější část je uzpůsobena na uchycení konstrukčního uzlu uchycení „hlavy“, která současně plní funkci přenosu signálu „do“ a „z“ „hlavy“. Součástí tohoto uchycení na vahadlu je i pohon na rotaci zmiňovaného uchycení „hlavy“. Pohon i část uchycení se do konstrukce vkládají až po montáži uchycením „hlavy“ na vahadlo.



Obr. č. 24 Celkový pohled na vahadlo

3.4.1 NÁVRH POHONU PRO ROTACI „HLAVY“

Parametry pro definování pohonu jsou získané z CAD systému Pro/Engineer 2.0 Wildfire. Jedná se především o momenty setrvačností a rozměry. Pro pohon volím elektrický motor s převodovkou typu 37GB-528TA (Tab. č. 6) od společnosti Shenguang Science & Technology Co [21].

37GB-528TA	U = 12 V
	I = 0.58 A
	n = 130 ot/min
	P = 4.06 W
	i = 1:30
	M = 294 mNm

Tab. č. 6 Parametry pohonu vertikální rotace

Základní jednotky: kg, m, s

Vstupní pohybové parametry

Poloměr : $r_{21} = 0,25 \text{ m}$

Otáčky na vstupu: $n_{21} = 30 \text{ ot/min}$

Úhlová rychlost: $w_{21} = 3,143 \text{ s}^{-1}$

Úhlové zrychlení: $e_{21} = 8 \text{ s}^{-2}$

Rychlost na vstupu: $v_{21} = 0,786 \text{ ms}^{-1}$

Akcelerace na vstupu: $a_{21} = 2 \text{ ms}^{-2}$

Parametry převodovky pohonu

Převodový poměr: $i_{p2} = 30 -$

Moment setrvačnosti převodovky: $J_{p2} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2$

Účinnost převodovky: $u_{p2} = 0,7 -$

Další zátěžné momenty na výstupu

Moment setrvačnosti na výstupu: $J_{vys2} = 0,065592 \text{ kgm}^2$

Výsledky

Účinnost motoru: $u_{m2} = 0,6 -$

Redukovaný moment na hřídel motoru: $J_{RED2} = 7,298 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$

Celkový převodový poměr: $i_{cel2} = 30 -$

Celková účinnost převodu: $u_{cel2} = 0,7 -$

Otáčky na hřídeli motoru: $n_{22} = 1285,715 \text{ ot/min}$

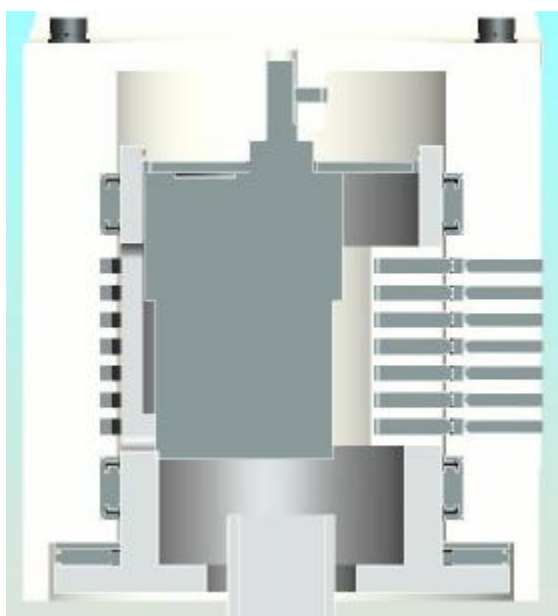
Moment na hřídeli motoru: $M_{cel2} = 0,025022 \text{ Nm}$

Moment na hřídeli motoru: $M_{cel2} = 25,022 \text{ mNm}$

Potřebný výkon motoru: $P_{cel2} = 3,371 \text{ W}$

3.4.2 PŘENOS SIGNÁLU

Řešit přenos signálu „z“ a „do“ „hlavy“ konstrukčně je z celého návrhu to nejproblematictější. Jelikož je ale požadavek na rotaci hlavy 360° je nutné vyřešit tuto část co nejjednodušeji a zároveň co nejspolehlivěji. Řešením je soustava ocelových kroužků a čepů (Obr. č. 25), pomocí kterých dojde k přenosu signálu s daným pořadím pro elektrické zapojení (Tab. č. 7). V případě špatného přenosu signálu (velké rušení) doporučuji čepy upravit na provlečení ocelového lanka, které bude plnit dotykovou funkci místo plošky čepu.



Obr. č. 25 Přenos signálu

Č.	Název	Barva kabelu	Popis	Určeno
1	VCC ₅	červená	+ 5V	USB
2	D -	bílá	data -	
3	D +	zelená	data +	
4	GND	černá	země	
5	VCC ₁₂	modrá	+ 12V	Kamera, pohon
6	U _{k1}	žlutá	+5V	Směr rotace pohonu
7	U _{k1}	hnědá	+5V	

Tab. č. 7 Přehled zapojení pro přenos signálu

3.4.3 ZDROJE ENERGIE

Zálohovací olověný (gelový) akumulátor (Obr. č. 26) s výstupním napětím 12V a kapacitou 4 Ah [24.]. Libovolnou pracovní i dobíjecí polohu zajišťuje hermetické uzavření akumulátoru. Konektory FASTON pro připojení.

Technické informace:

- napětí 12V
- kapacita 4Ah
- max. dobíjení 1,5A
- rozměry 90x70x101mm
- hmotnost 1,5kg



Obr. č. 26 12V akumulátor včetně zobrazení modelu

Zálohovací olověný (gelový) akumulátor (Obr. č. 41) s výstupním napětím 6V a kapacitou 4 Ah [25.]. Libovolnou pracovní i dobíjecí polohu zajišťuje hermetické uzavření akumulátoru. Konektory FASTON pro připojení.

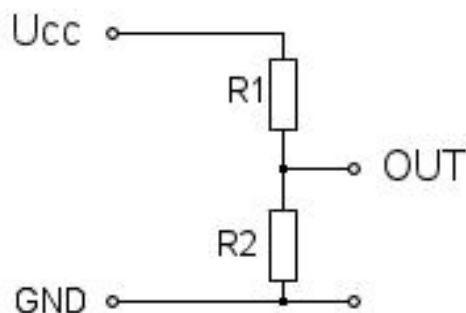
Technické informace:

- napětí 6V
- kapacita 4Ah
- rozměry 70x47x98mm
- váha 0,87kg.



Obr. č. 27 6V akumulátor včetně zobrazení modelu

Z toho důvodu, že napájení senzorů vyžaduje na místo 6V právě 5V, je potřeba navrhnout dělič napětí (Obr. č. 28) přímo pro tuto aplikaci.



Obr. č. 28 Schéma děliče napětí

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5}{6} = \frac{10\,000}{2\,000 + 10\,000} \Omega$$

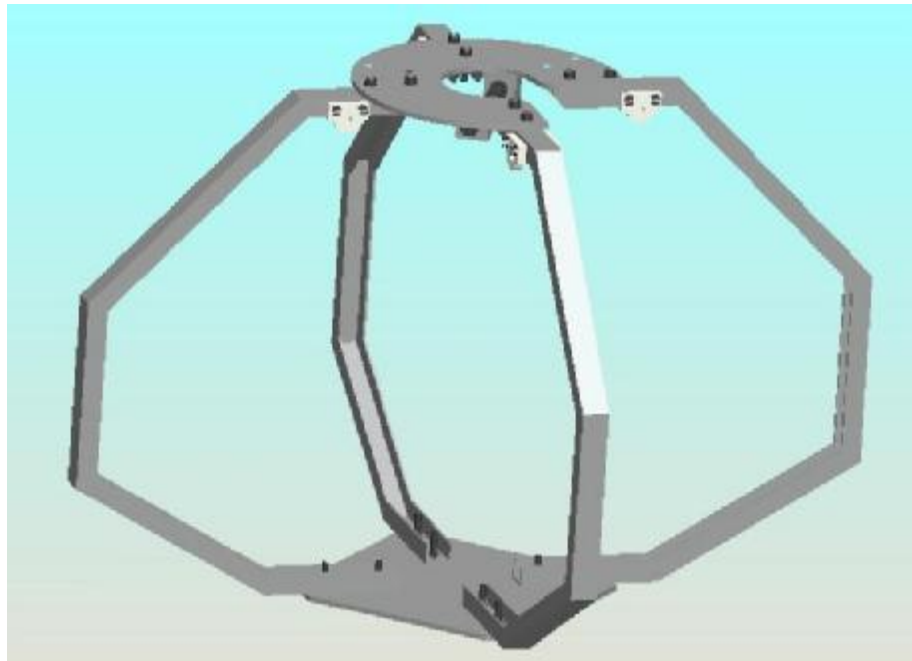
$$I = \frac{U_{cc}}{R_1 + R_2} = \frac{6}{2\,000 + 10\,000} = 0.5mA$$

$$U_{out} = \frac{U_{cc} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6 \cdot 10\,000}{2\,000 + 10\,000} = 5V$$

Navržené odpory [26.] jsou $R_1 = 2k\Omega$ a $R_2 = 10k\Omega$.

3.5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH RÁMU

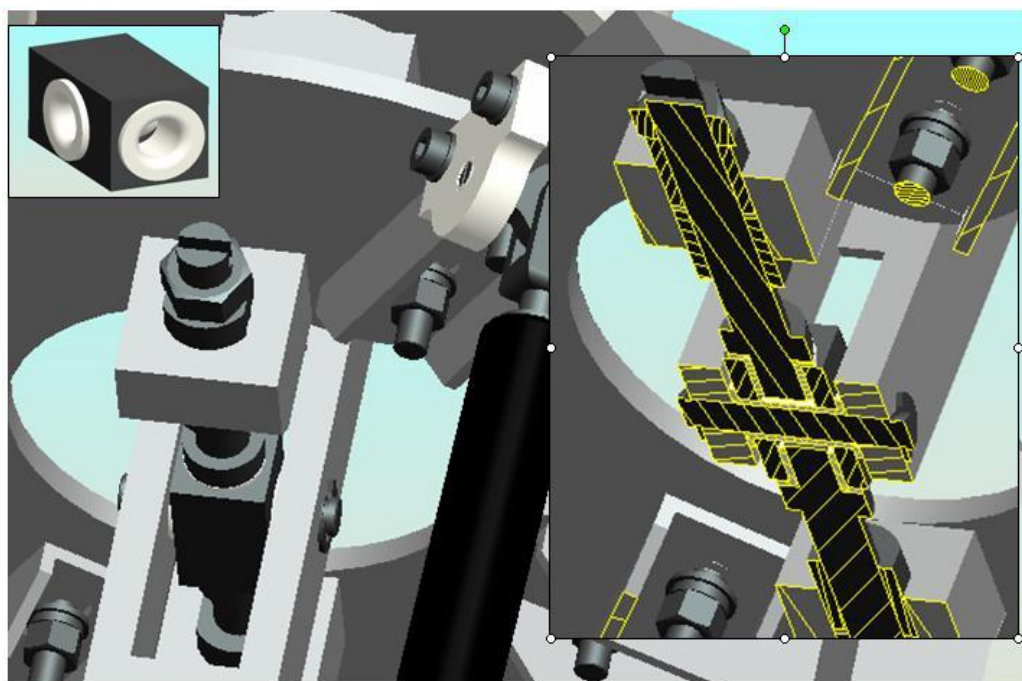
Rám je tvořen čtyřmi vzpěrami, které jsou tvořeny svařovanými profily U, jenž jsou navzájem sešroubovány s přípojnou deskou a úchytovou deskou pro vahadlo (Obr. č. 29). Úchytová deska pro vahadlo je upravena i pro verzi se třemi vzpěrami, pro rychlejší posouzení vhodnosti počtu těchto vzpěr. Hlavní výhodou tří vzpěr je snížení hmotnosti o chybějící vzpěru a také o tlumičovou brzdu, taktéž i o snížení ceny za tyto dvě položky a jim přidružené součástky. To, že se jedná o možnost změny počtu vzpěr, mělo za následek pootočení uchycení vahadla o 30°. I když pro tuto konstrukci volím verzi čtyř vzpěr, toto pootočení ponechávám, včetně všech děr. Důvodem pro tuto volbu je snadnější možnost uchycení akumulátoru k vahadlu a tím jednodušší tvary.



Obr. č. 29 Pohled na rám

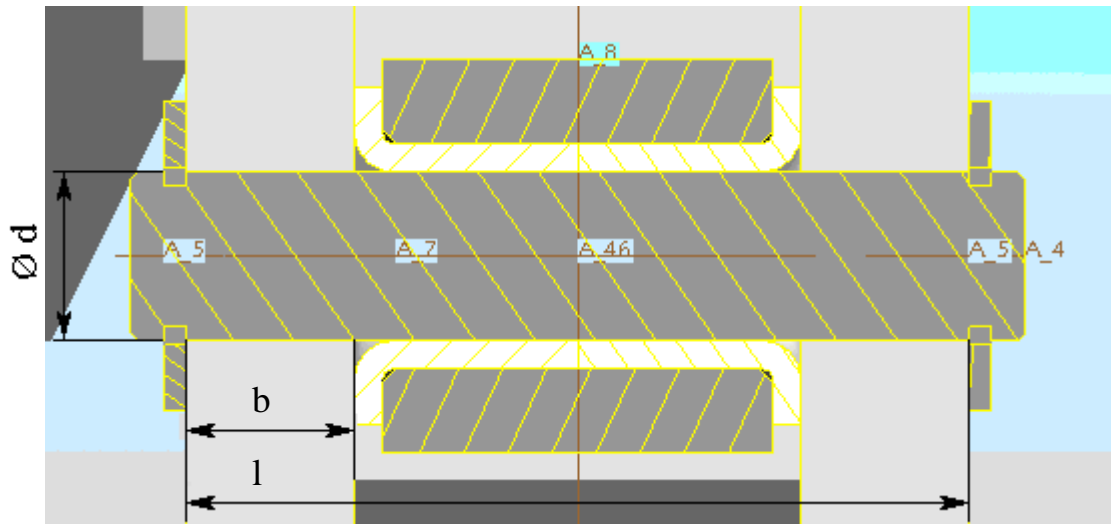
3.5.1 UCHYCENÍ VAHADLA K RÁMU

Vahadlo s uchycením „hlavy“ a „hlavou“ se společně za pomoci tří čepů a sestavy konstrukčního dílu kostky uchytí k rámu (Obr. č. 30). Sestava kostky se skládá ze samotné kostky, která nám umožní dva stupně volnosti a čtyř kluzných ložisek PSMF 060808 B. Tato kluzná ložiska jsou jedna z nejmenších, které lze z daného sortimentu [28.] získat. Výpočet středového čepu (Obr. č. 31) provedeme na základě výpočtu minimálního průměru čepu s následným zkontrolováním na otlacení a na základě získaných informací provedeme výpočet vnějších dvou čepů (Obr. č. 32).



Obr. č. 30 Pohled na uchycení vahadla k rámu, včetně řezu a pohledu na sestavu kostky

Výpočet čepů:



Obr. č. 31 Řezu uchycením středovým čepem

Maximální zátěžná síla:

$$m_{max} = m_{hlava} + m_{úchyt hlavy} + m_{vahadlo}$$

$$m_{max} = 1.5 + 4 + 0.87 = 6.37 \text{ kg}$$

$$F_{max} = m_{max} \cdot g$$

$$F_{max} = 6.37 \cdot 9.81 = 62.49 \text{ N}$$

$$Mo_{max} = F_{max} \cdot \frac{l}{2} \quad [Nm]$$

$$Mo_{max} = 62.49 \cdot \frac{0.022}{2} = 0.687 \text{ Nm}$$

$$s_{DOV} = 80 \text{ MPa pro střídavé namáhání [27.]}$$

Minimální průměr čepu:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot Mo_{max}}{p \cdot s_{DOV}}} [mm]$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 0.687}{p \cdot 80}} = 0.448 \text{ mm}$$

Minimální průměr volím $d_{\text{čep}} = 6\text{ mm}$ a o to z důvodu použití kluzných ložisek typu PSMF 060808 B.

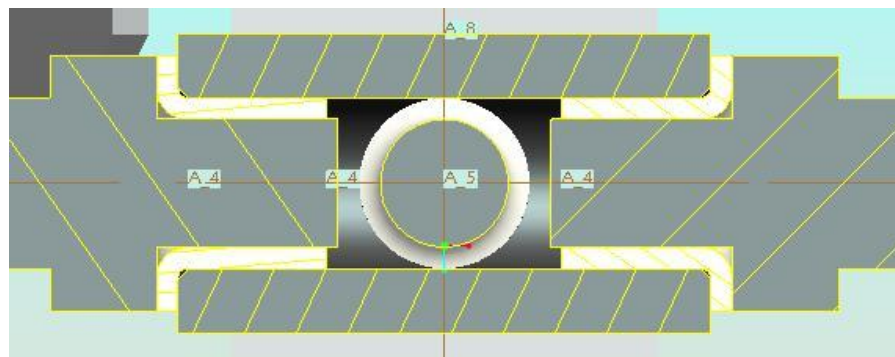
Tlak na čepu:

$$p_{DOV} =$$

$$p = \frac{F}{l_1 \cdot d_{\text{čep}} \cdot 2} \leq p_{DOV}$$

$$p = \frac{62.49}{6 \cdot 6 \cdot 2} = 0.868 \text{ MPa}$$

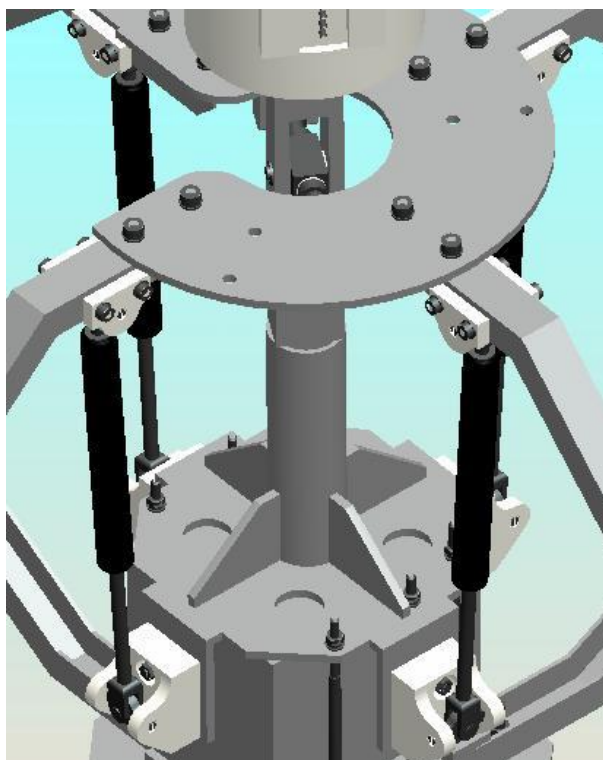
Jelikož hodnoty výsledků jsou ke svým dovoleným hodnotám relativně velmi malé, nebude již proveden výpočet bočních čepů, protože po dosazení do předešlých rovnic by byly vypočteny velmi podobné výsledky a závěr by byl tentýž.



Obr. č. 32 Řez zachycení kostky na boční čepy

3.6 TLUMICÍ SYSTÉM

Velmi důležitou částí celého návrhu je zabránění rozkmitání celé soustavy při pohybu. Toto rozkmitání je dáno především členitostí terénu, rychlostí a zrychlením MR a je pro soustavu nežádoucí. Proto je vahadlo k rámu připojeno nejen pevnou vazbou kardanového spoje, ale i za pomoci tlumicího systému (Obr. č. 33), který je tvořen 4 ks tlumičových brzd. Tyto tlumičové brzdy je nutné taktéž uchytit za pomoci kardanových spojů a vytváří nám dalších 20 stupňů volnosti soustavy.



Obr. č. 33 Tlumicí systém

3.6.1 VÝBĚR ČLENŮ TLUMÍČÍHO SYSTÉMU

Tlumičové brzdy jsou vyráběny jen v daném rozsahu zdvihu a tomu odpovídajícímu rozměru, a také silou, kterou umí vyvodit. Všechny tyto parametry uvádějí příslušné katalogy firem, které je vyrábějí. Z konstrukčních důvodů volím pro tuto aplikaci typ HB-15-100-DD-M (Obr. č. 34) od firmy ACE Stossdaempfar GmbH [29.]. Hlavní důvod této volby je hledání vhodného umístění tohoto tlumícího systému v prostorách rámu. Tlumičovou brzdou volím tedy se zdvihem 100 mm s průměrem válce 15 mm s koncovkami ve tvaru vidlic, které nám umožní snadné připojení pro kardanový spoj. Posledním důležitým parametrem je směr tlumení pouze při vysouvání. Tuto tlumičovou brzdou lze nastavit jako jednu z mála na sílu 20 N až 800 N a další úpravy je nutné konzultovat s výrobcem. Jiné tlumičové brzdy jsou nastavitelné přibližně na stejnou hodnotu a jsou přibližně ve stejných rozměrech, liší se tedy nevýrazně.

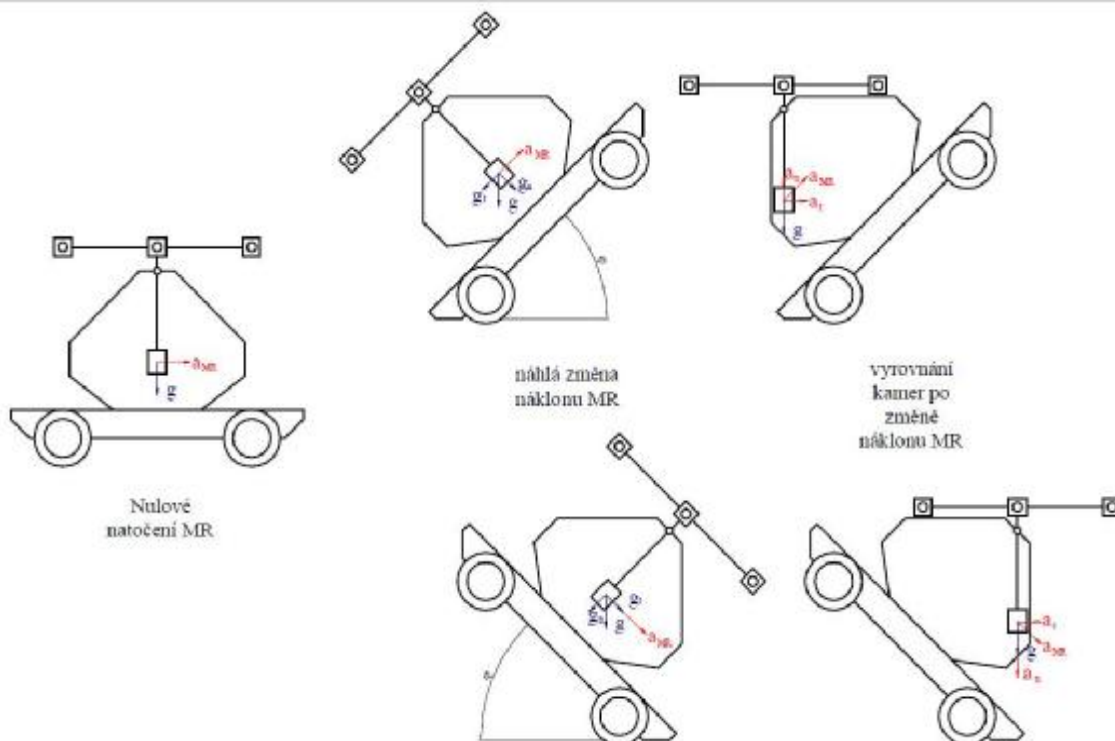


Obr. č. 34 Tlumič HB-15-100-DD-M

3.6.2 NASTAVENÍ TLUMÍČÍHO SYSTÉMU

Z grafu (Graf č. 1) vyplývá, že v případě okamžitého náklonu MR (Obr. č. 35) o úhel odečtený s x-ových souřadnic vzniká tečná akcelerační síla, maximálně však může narůst na velikost a_{\max} . Toto zrychlení se pak ustálí na hodnotě pro natočení vahadla kolmé k zemi, čemuž odpovídá hodnota nulového natočení mobilního robota a velikost akcelerace při ustálení je dána pouze akcelerací pohybu celého MR, nikoli součtem s tečným zrychlením tíhové síly Země. Obdobou jsou hodnoty pro jednotlivé rychlosti, které vychází z nerovnoměrného pohybu po kružnici a jsou dány vztahem pro výpočet tečného zrychlení. Velikosti jednotlivých hodnot zrychlení a rychlostí jsou v tabulce (Tab. č. 8).

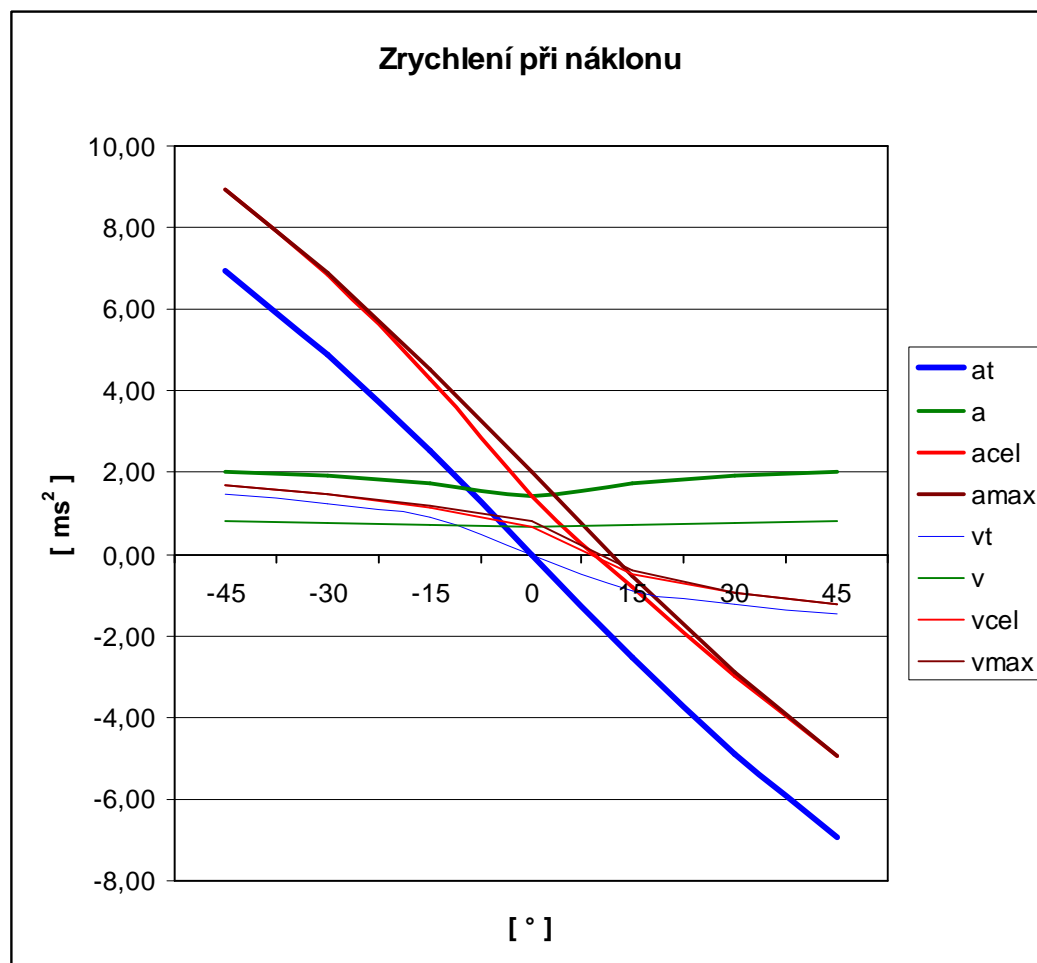
Při základním výpočtu a definování zrychlení není zohledněn odpor valivý a odpor vzduchu. Tyto odpory započteme až při momentovém rozboru celku. Poloměr vahadla je pro tento výpočet přemístěn do fiktivního hmotného bodu, který je na konci vahadla.



Obr. č. 35 Náklon MR v 5-ti polohách

	klesání				stoupání				
φ	-0,79	-0,52	-0,26	0,00	0,26	0,52	0,79	[rad]	
	-45	-30	-15	0	15	30	45	[°]	
a_t	6,94	4,91	2,54	0,00	-2,54	-4,91	-6,94	[ms ⁻²]	
a	2,00	1,93	1,73	1,41	1,73	1,93	2,00	[ms ⁻²]	
a_{cel}	8,94	6,84	4,27	1,41	-0,81	-2,97	-4,94	[ms ⁻²]	
a_{max}	8,94	6,91	4,54	2,00	-0,54	-2,91	-4,94	[ms ⁻²]	
v_t	1,48	1,24	0,89	0,00	-0,89	-1,24	-1,48	[ms ⁻¹]	
v	0,79	0,78	0,74	0,67	0,74	0,78	0,79	[ms ⁻¹]	
v_{cel}	1,68	1,47	1,16	0,67	-0,50	-0,97	-1,25	[ms ⁻¹]	
v_{max}	1,68	1,47	1,20	0,79	-0,41	-0,96	-1,25	[ms ⁻¹]	

Tab. č. 8 Přehled zrychlení a rychlostí při náklonu MR

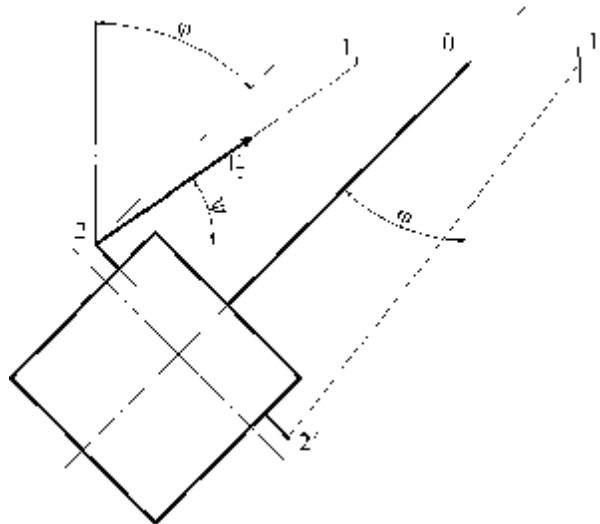


Graf č. 1 Grafické zobrazení průběhu akcelerace při náklonu MR

Budeme-li předpokládat, že MR v okamžiku změny v jedné rovině náklon o 45° , získáváme vstupní informace pro definování úhlové rychlosti a zrychlení na základě kterých pak vypočítáme jednotlivé momenty působící v této soustavě a tím i nastavení tlumičových brzd. S výhodou opět můžeme použít již zmíněný program (kap. 3).

Poloměr:	$r_{vahadla} = 0,315 \text{ m}$
Úhlová rychlost:	$w_{\max} = 5,333 \text{ s}^{-1}$
Úhlové zrychlení:	$e_{\max} = 28,3809523809524 \text{ s}^{-2}$
Rychlost na vstupu:	$v_{\max} = 1,68 \text{ m s}^{-1}$
Akcelerace na vstupu:	$a_{\max} = 8,94 \text{ m s}^{-2}$

Pro upřesnění parametrů je nutné stanovit všechny potřebné rozměry a definovat rozsahy pohybů tlumičů vůči vahadlu. Pro celý návrh provedeme výpočet pouze v rovině 2D, jelikož v 3D by se síly tlumičů sčítaly a výslednice by byla silou. Natočení MR by pak bylo právě takové, že by byl použit pouze 1 tlumič (Obr. č. 36).



Obr. č. 36 Náčrt definování parametrů pro výpočet tlumicí síly

Moment horní sestavy vahadla:	$J_{HS} = 0,092633$
Moment dolní sestavy vahadla:	$J_{DS} = 0,197485$
Souřadnice uchycení vahadla k rámu:	0 [0; 0]
Souřadnice uchycení tlumiče na vahadlu:	2 [0,095; 0,232]
Souřadnice uchycení tlumiče na rámu:	1 [0,075; 0,004]
Úhel natočení tlumiče:	$\gamma = 90 - \arctg \frac{x_T}{y_T}$
Úhlové zrychlení tlumicího systému:	$e_{TS} = \frac{a_t}{r_T}$

3.6.3 NASTAVENÍ TLUMIČOVÝCH BRZD

$$M_T + M_2 - M_1 \geq 0$$

$$M_{T_n} - M_{T_i} + M_2 - M_1 \geq 0$$

$$M_{T_i} = F_{T_i} \cdot l_y = F_T \cdot \sin(90 - |\mathbf{y}| - |\mathbf{j}|) \cdot l_y$$

$$M_{T_n} = F_{T_n} \cdot l_x = F_T \cdot \cos(90 - |\mathbf{y}| - |\mathbf{j}|) \cdot l_x$$

$$M_1 = J_{DS} \cdot \mathbf{e}_{TS}$$

$$M_2 = J_{HS} \cdot \mathbf{e}_{TS}$$

$$F_T \cdot \cos(|\mathbf{y}| + |\mathbf{j}| - 90) \cdot l_x - F_T \cdot \sin(|\mathbf{y}| + |\mathbf{j}| - 90) \cdot l_y + (J_{HS} - J_{DS}) \cdot \frac{a_{MR_i}}{r_{DS}} \geq 0$$

Po dosazení a úpravě získáváme vztah pro minimální akceleraci MR v závislosti na tlumicí síle. Po překonání této hraniční akcelerace dojde k pohybu vahadla proti směru akcelerace.

$$\frac{[F_T \cdot \cos(|\mathbf{y}| + |\mathbf{j}| - 90) \cdot l_x - F_T \cdot \sin(|\mathbf{y}| + |\mathbf{j}| - 90) \cdot l_y] \cdot r_{DS}}{J_{DS} - J_{HS}} \geq a_{MR_i}$$

Pro definování minimální tlumicí síly se vztah upraví na následující:

$$F_T \geq \frac{a_{MR_i} \cdot (J_{DS} - J_{HS})}{r_{DS} \cdot [\cos(|\mathbf{y}| + |\mathbf{j}| - 90) \cdot l_x - \sin(|\mathbf{y}| + |\mathbf{j}| - 90) \cdot l_y]}$$

Parametry natočení tlumiče a zrychlení soustavy jsou závislé na náklonu mobilního robota, a proto musíme prošetřit celý rozsah (Tab. č. 9) náklonu MR, čímž zjistíme průběh tlumicí síly pro konkrétní akceleraci působící na soustavu vahadla a tlumicího systému.

	klesání				stoupání			
j	-45	-30	-15	0	15	30	45	[°]
y	21	14	7	4	-5	-10	-17	[°]
F ₁	6,57	6,29	6,12	6,08	6,06	6,11	6,26	[ms ⁻²]
F ₂	13,13	12,58	12,24	12,16	12,12	12,22	12,51	[ms ⁻²]
F ₃	19,70	18,87	18,37	18,24	18,17	18,33	18,77	[ms ⁻²]
F ₄	26,26	25,16	24,49	24,32	24,23	24,43	25,03	[ms ⁻²]
a ₁	1,52	1,59	1,63	1,64	1,65	1,64	1,60	[N]
a ₂	3,05	3,18	3,27	3,29	3,30	3,27	3,20	[N]
a ₃	4,57	4,77	4,90	4,93	4,95	4,91	4,79	[N]
a ₄	6,09	6,36	6,53	6,58	6,60	6,55	6,39	[N]

Tab. č. 9 Průběh tlumicí síly

Závislost hlavních parametrů:

$$F_1 = f(a = 2ms^{-2})$$

$$a_1 = f(F = 5N)$$

$$F_2 = f(a = 4ms^{-2})$$

$$a_2 = f(F = 10N)$$

$$F_3 = f(a = 6ms^{-2})$$

$$a_3 = f(F = 15N)$$

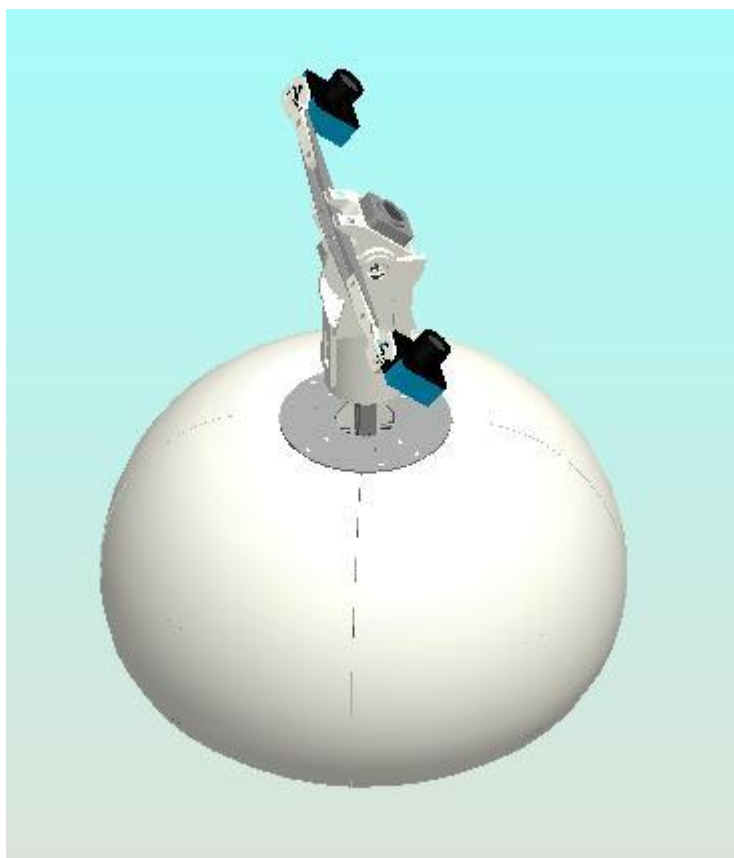
$$F_4 = f(a = 8ms^{-2})$$

$$a_4 = f(F = 20N)$$

Prvotní nastavení tlumicí síly se navolí na hodnotu 6,06 N, která odpovídá hodnotě pro velikost zrychlení 2 ms⁻² a úhlu natočení minimálně 15°.

3.7 KRYTOVÁNÍ

Konstrukční projekt neobsahuje návrh krytování, který by vyřešil ochranu prostoru v rámu od nepřízně vnějších vlivů. Již samotná konstrukce rámu slouží k základní ochraně tlumičového systému a části vahadla, které se nachází právě uvnitř rámu. Tuto ochranu lze zvýšit např. použitím čtyř samostatných štítů (Obr. č. 37), které do sebe zapadají. Pokud by byly štíty použity, musely by se přimontovat ke konstrukci rámu.



Obr. č. 37 Krytování rámu

3.8 SENZORY

Konstrukční část monitorovací „hlavy“ bude mít následující senzorické vybavení. Pro přenos video obrazu středové kamery již zmiňovaný GIGAMINIA-T miniaturní vysílač (Obr. č. 38). Kompas CMPS03 [30.], který je nutné doplnit převodníkem USB2I2C [31.] a dále akcelerometr ADXL 202 [32.] pro měření náklonu.

GIGAMINIA-T miniaturní vysílač GigaLink s audiem

Vlastnosti:

- miniaturní vysílač GigaLink
- radiový přenos videosignálu a audiosignálu (mono)
- frekvenční pásmo 2.4-2.4835 GHz, modulace F3F
- vysílací výkon 10 mW (EIRP), dosah při přímé viditelnosti až 300 m
- 5 pracovních kanálů (možnost paralelního provozu až 3 pojítek v místě)
- kanálový volič, všesměrová anténa 0 dB
- plastové pouzdro, napájení 12 V DC
- napájecí zdroj součástí dodávky
- provoz v ČR na základě všeobecného oprávnění ČTÚ č.VO-R/10/08.2005-24



Obr. č. 38 Miniaturní vysílač

Kompas CMPS03

- Napájení 5V/20mA
- Rozlišení 0.1°
- Přesnost $3-4^\circ$ (po kalibraci)
- Výstup 1 - impuls délky 1-37 ms s krokem 0.1 ms
- Výstup 2 - I2C interface 0-255, 0-3599, max. 1MHz
- Rozměry 32x34mm



Obr. č. 39 Kompas CMPS03

Převodník USB <-> I2C

- založeno na FTDI, jsou dostupné drivery
- pro Win, Linux i Mac
- napájení z USB
- vestavěné zdvihací (pull-up) odpory 4K7 pro I2C
- alternativně lze použít jako jeden vstup a dva vstupy/výstupy nebo dva analogové kanály



Obr. č. 40 Převodník USB2I2C

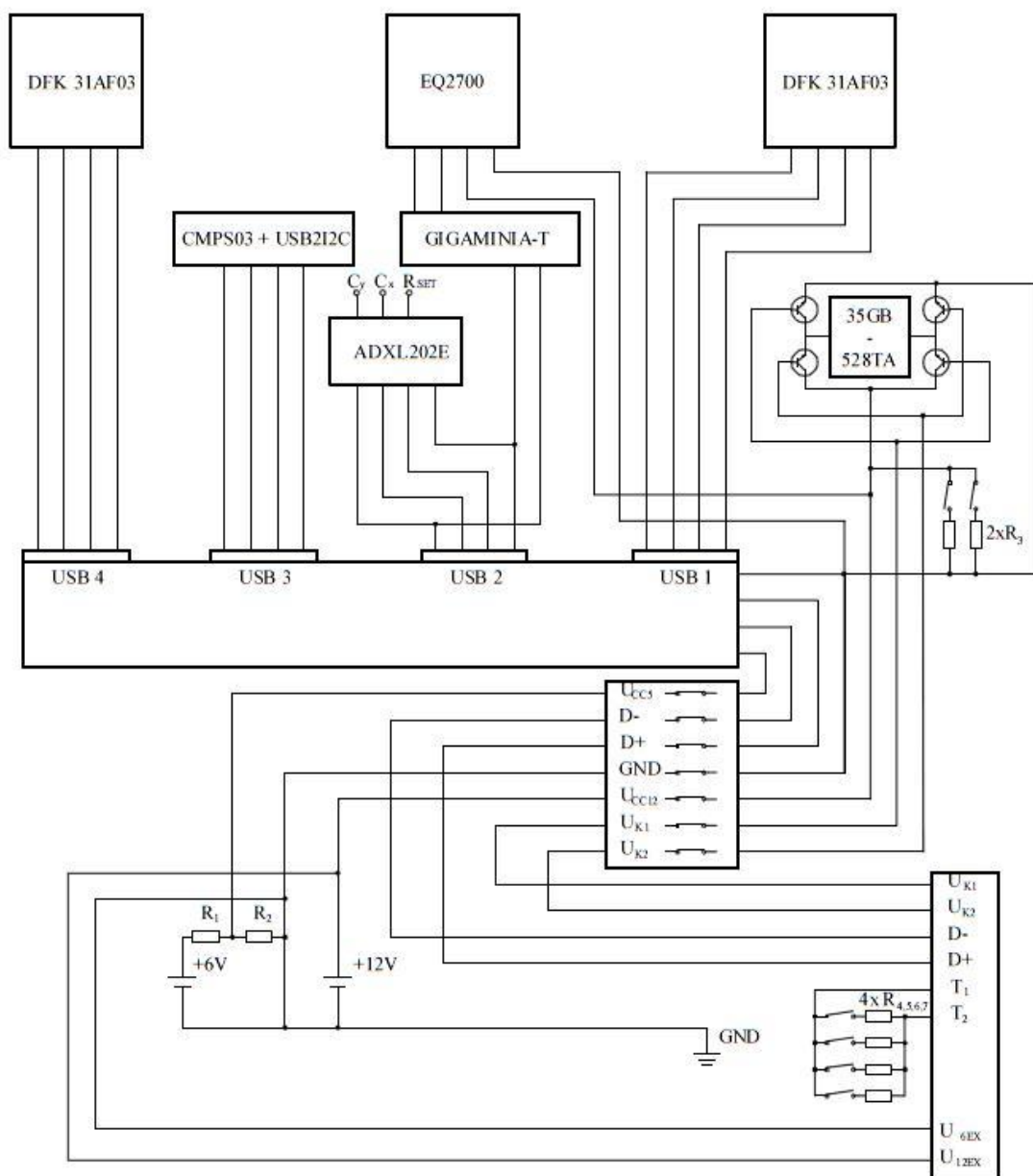
Akcelerometr ADXL202

- napájecí napětí: +4,75 až +5,25V
- napájecí proud: 6 mA typicky
- rozsah: 5mg až 2g
- šum: 500 ug/?Hz typicky
- citlivost cyklus/g: 12,5% /g typicky
- citlivost analog. signálu: 300mV/g při +5V
- teplotní rozsah: -40 až +85°C
- výrobce: Analog Device
- hermeticky uzavřené pouzdro LCC s 8 vývody
- rozměry 5 mm x 5 mm x 2 mm.

Konstrukční celek úchyt hlavy bude vybavena dvěma taktilními senzory P-B172B pro zajištění koncových poloh. A takéž USB rozbočovač, pro vstup minimálně čtyř USB konektorů, jelikož v příslušných dokumentacích nejsou uvedeny rozměry nezařazují v tomto přehledu senzoru vhodný typ USB rozbočovač. Konstrukční část vahadlo je vybaveno dvěma akumulátory (kap. 3.4.3) a akcelerometrem. Poslední část konstrukce je rám a ten bude vybaven 8-mi taktilními senzory P-B172B [33.].

3.9 NÁVRH ELEKTRICKÉHO ZAPOJENÍ

Na základě senzorkého, video a energetického vybavení je vytvořeno následující elektrické zapojení (Obr. č. 41).



Obr. č. 41 Schéma elektrického zapojení

4. ZÁVĚR

Zadáním této diplomové práce je „Konstrukční návrh „hlavy“ na mobilní roboty s více stupni volnosti pro monitorování okolí“ s požadavky, které byly v průběhu práce doplňovány a upřesňovány. Celkově jsou navrženy tři varianty pro hodnotovou analýzu, na které se podílelo celkem 5 specialistů z oblasti robotiky. Ti měli za úkol dle svých zkušeností vyjádřit hodnotu vah mezi celkem 5-ti různými kritérii, jež byly tvořeny počtem pohonů, energetickou zátěží, dosažitelnou přesností, složitostí konstrukce a náročností výroby. Celková konstrukce byla řešena jako modul pro mobilního robota.

Z hodnotové analýzy vyšla jako neoptimálnější varianta „C“, která pro nastavení do vodorovné roviny využívá část své konstrukce. Výhodně je zde využita mnohdy nežádoucí hmotnost akumulátorů, jež jsou důležité pro chod celého modulu. Hmotnost těchto akumulátorů umístěných vespod vahadla je akčním členem pro automatické vyrovnávání náklonu mobilního robota při pohybu v členitém terénu. K nerozkmitání soustavy kamer při pohybu MR v členitém terénu bylo použito vhodného řešení tlumičů, které spojují rám a vahadlo. Tlumičový systém a část vahadla, na kterém jsou vhodně umístěny akumulátory, jsou vně rámu, který umožňuje základní zabezpečení těchto prvků. Pro zajištění úplné ochrany všech prvků vně rámu je vhodné doplnit konstrukci o kryty. Samotný rám zajišťuje kromě základní ochrany také komunikační přenos mezi modulem a mobilním robotem, dále je vybaven možností připojení externího zdroje a nese řadu taktilních senzorů pro zajištění maximální ochrany celého modulu. Využitím kardanového spoje je vahadlo přichyceno k rámu a tlumiče k jednotlivým úchytům pro ně určeným. Tímto uchycením vahadla k rámu jsou získány 2 stupně volnosti. Celkem je v konstrukci využito čtyř tlumičů (tlumičové brzdy), které tedy do konstrukce přidávají 20 stupňů volnosti.

Jedním z požadavků na konstrukci byla možnost neomezeného otáčení kamer kolem vertikální osy vahadla. Zde vzniká nutnost vyřešit přenos signálů a napájení „do“ a „z“ hlavy, až ke komunikačnímu zařízení modulu, bez hrozby zamotání potřebné kabeláže. Řešením je soustava ocelových kroužků a čepů, které svými dotyky vedou jednotlivé signály v obou směrech. Pro zajištění lepšího přenosu a kvality signálu je vhodné povrchově tento systém upravit, popřípadě ho doplnit o další systém, který by jednotlivé čepy tlačil ke kroužkům, čímž by bylo dosaženo dokonalejšího kontaktu čepů a kroužků.

Aby byl využit prostor vně kroužku je tento systém doplněn pohonem pro vertikální rotaci, jež přidává 1 stupeň volnosti. Samotné kamery jsou uloženy na „hlavě“ modulu s možností nastavení sbíhavosti krajních kamer a náklonu všech kamer dle požadavků kladených na tuto konstrukci. Sbíhavost se nastaví vždy před uvedením do provozu a je během chodu mobilního robota neměnná. Toto nastavení poloh kamer přidává 3 stupně volnosti do konstrukce, v celém modulu se tedy nachází 26 stupňů volnosti.

K práci dokládám nezbytné výpočty pro návrh kompletní konstrukce včetně modelu a výkresů sestav vytvořených v CAD systému Pro/Engineer Wildfire 2.0. Rovněž dokládám seznam vhodných senzorů a možné zapojení všech členů v elektrickém schématu.

SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1.] PRIOLO, G.P.; RADIGAN, J. *NavSource Online: Mine Warfare Ship Photo Archive. Dextrous (MCM-13)* [online]. 2005 , 12.09.2008 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.navsource.org/archives/11/1213.htm>>
- [2.] *PAP Mark 5 / PAP MK 5, PAP-104*. [online]. , 25.05.2008 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <http://www.deagel.com/Underwater-Vehicles/PAP-Mark-5_a002091001.aspx>
- [3.] *The Deep Phreatic Thermal Explorer. DEPTHX* [online]. 09.08.2007 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.frc.ri.cmu.edu/depthx/index.html>>
- [4.] *Roving Robot Land Mine Detector* [online]. ResearchChangel, , 2009 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <<http://www.researchchannel.org/prog/displayevent.aspx?rID=3777&fID=782>>
- [5.] DREDGE, S. *Tech Digest. Top 10 future jobs for Honda's Asimo robot* [online]. 2007 , 26.05.2007 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <http://www.techdigest.tv/2007/03/top_10_future_j.html>
- [6.] *ASIMO*. [online]. 2009 , 10.03.2009 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://world.honda.com/ASIMO/>>
- [7.] FG FORREST, A.S. *Ministerstvo obrany. SOJKA III* [online]. 2004 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=5065>>
- [8.] *UAV & Predator* [online]. 2006 , 24.11.2008 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <http://www.footagehouse.com/uav_&_predator.htm>
- [9.] Stanford University. *Autonomous helicopter* [online]. 2003 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://heli.stanford.edu/>>
- [10.] *ESA Aurora Exploration Programme. ExoMars* [online]. 2000 , 19.01.2007 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <http://www.esa.int/SPECIALS/Aurora/SEM1NVZKQAD_0.html>
- [11.] DUNBAR, B. *NASA. Multimedia* [online]. , 27.03.2008 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/>>

- [12.] Česko-Slovenská filmová databáze. *Stopařův průvodce po Galaxii* [online]. 2005 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.csfd.cz/film/182343-stoparuv-pruvodce-po-galaxii-hitchhikers-guide-to-the-galaxy-the/gallery/>>
- [13.] Česko-Slovenská filmová databáze. *Já, robot* [online]. 2004 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.csfd.cz/film/91975-ja-robot-i-robot/>>
- [14.] Česko-Slovenská filmová databáze. *Terminátor 2: Den zúčtování* [online]. 1991 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.csfd.cz/film/1248-terminator-2-den-zuctovani-terminator-2-judgment-day/>>
- [15.] Česko-Slovenská filmová databáze. *Číslo 5 žije* [online]. 1986 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.csfd.cz/film/387-cislo-5-zije-short-circuit/>>
- [16.] *Point Grey Research. Products and Services* [online]. 2008 [cit. 2009-03-27]. Přístup z internetu: <<http://www.ptgrey.com/products/index.asp>>
- [17.] *Acrylonitril/Butadien/Styren (ABS)* [online]. LPM s.r.o., Technické díly z plastů, , 2008 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <<http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2110&lng=1>>
- [18.] *EQ 2700* [online]. euroalarm, , 2009 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <<https://www.euroalarm.cz/en/security-systems-intruder-detection-solution/cctv/cameras/day-night/eq-2700-s17037431>>
- [19.] *DFK 31AF03 - Overview* [online]. Imaging Source, , 2009 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <http://www.turnkey-solutions.com.au/cam_imagingsource_dfk31af03.htm>
- [20.] *GIGAMINIA-T miniaturní vysílač GigaLink s audiem* [online]. ESCAD Trade, , 2009 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <<http://www.escadtrade.cz/gigaminia-t-miniaturni-vysilac-gigalink-s-audiem.html>>
- [21.] *Products* [online]. Shenzhen Shengguang Science & Technology Co. Ltd., [cit. 2009-05-04]. Přístup z internetu: <<http://www.sgstcl.com> >
- [22.] *Jehlová ložiska radiální* [online]. Mateza spol s.r.o., , 4.5.2009 [cit. 2009-05-04]. Přístup z internetu: <<http://www.mateza.cz/pdf/010601.pdf>>
- [23.] *Jehlová ložiska axiální* [online]. Mateza spol s.r.o., , 4.5.2009 [cit. 2009-05-04]. Přístup z internetu: <<http://www.mateza.cz/pdf/010602.pdf>>

- [24.] *Zálohový akumulátor 12 V AKU 12V - 4Ah* [online]. DS Technik, , 2009 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <<http://www.dstechnik.cz/zalohovy-akumulator-12-v-aku-12v-4ah-kapacita-4ah-121.html?qkk=40bad90e896c5a3cbebf8cf8be6e08c3d>>
- [25.] *Zálohový akumulátor 6V - např. pro svítidlo AH4 AKU 6V - 4Ah* [online]. DS Technik, , 2009 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <<http://www.dstechnik.cz/zalohove-akumulatory-aku-6v-4ah-kdobijeci-baterie-4ah-156.html?qkk=e510495da571bd576cbb9540924a9fc>>
- [26.] *Rezistory pevné* [online]. GM Electronic, , 2009 [cit. 2009-04-27]. Přístup z internetu: <<http://www.gme.cz/cz/index.php?page=electronic&id=01001>>
- [27.] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P. *Strojírenské tabulky : Druhé doplněné vydání*. Úvaly : Albra, 2005. 907 p. ISBN 80-7361-011-6.
- [28.] *Katalog kluzná pouzdra* [online]. SKF Ložiska a.s., [cit. 2009-05-13]. Přístup z internetu: < <http://www.skf.com/files/262138.pdf> >
- [29.] *Tlumiče rázu ACE* [online]. ACE Controls International, [cit. 2009-05-13]. Přístup z internetu: <http://new.bibus.cz/pdf/Ace/ACE_Katalog_2004_CZ.pdf>
- [30.] *Kompas CMPS03* [online]. Snail Instruments, , 13.5.2009 [cit. 2009-05-13]. Přístup z internetu: <<http://www.snailinstruments.com/cze/robotics/electro.php>>
- [31.] *USB I2C* [online]. Snail Instruments, , 13.5.2009 [cit. 2009-05-13]. Přístup z internetu: <<http://www.snailinstruments.com/cze/robotics/electro.php>>
- [32.] *Řada ADXL202* [online]. Společnost pro elektronické aplikace, , 13.5.2009 [cit. 2009-05-13]. Přístup z internetu: <http://www.seapraha.cz/index.php?action=show_cat&cPath=46_92_105_244>
- [33.] *Mikrospínač s páčkou P-B172B* [online]. , 13.5.2009 [cit. 2009-05-13]. Přístup z internetu: <<http://www.gme.cz/cz/index.php?product=630-155>>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 Rozdělení mobilních robotů dle jejich oblasti nasazení	6
Obr. č. 2 Výběr vodních mobilních robotů.....	7
Obr. č. 3 Výběr po(d)zemních mobilních robotů.....	8
Obr. č. 4 Výběr létajících mobilních robotů.....	9
Obr. č. 5 Výběr vesmírných mobilních robotů	10
Obr. č. 6 Výběr filmového zpracování robotů.....	11
Obr. č. 7 Obecné rozdělení subsystému mobilního robota.....	12
Obr. č. 8 Snímek jedné kamery krajiny Marsu z MR Spirit (NASA, 2004)	13
Obr. č. 9 Obrázek pořízený levou a pravou kamerou (Point Grey Research Inc.).....	13
Obr. č. 10 Sférický pohled na krajinu (Point Grey Research Inc.)	13
Obr. č. 11 Možnosti natáčení kamer	16
Obr. č. 12 Vize varianty A.....	18
Obr. č. 13 Vize varianty B	19
Obr. č. 14 Vize varianty C.....	20
Obr. č. 15 Okno základního výpočtu	24
Obr. č. 16 Celkový náhled na konstrukci	25
Obr. č. 17 Monitorovací „hlava“	26
Obr. č. 18 Kamera EQ2700	27
Obr. č. 19 Kamera DFK 31AF03.....	27
Obr. č. 20 Uchycení bočních kamer.....	30
Obr. č. 21 Konstrukční řešení úchytu „hlavy“	31
Obr. č. 22 Řez radiálním jehlovým ložiskem	32
Obr. č. 23 Řez axiálním jehlovým ložiskem	33
Obr. č. 24 Celkový pohled na vahadlo _	34
Obr. č. 25 Přenos signálu.....	37
Obr. č. 26 12V akumulátor včetně zobrazení modelu.....	38
Obr. č. 27 6V akumulátor včetně zobrazení modelu.....	38
Obr. č. 28 Schéma děliče napětí	39
Obr. č. 29 Pohled na rám.....	40
Obr. č. 30 Pohled na uchycení vahadla k rámu, včetně řezu a pohledu na sestavu kostky.	41

Obr. č. 31 Řezu uchycením středovým čepem	42
Obr. č. 32 Řez zachycení kostky na boční čepy	43
Obr. č. 33 Tlumič systém	44
Obr. č. 34 Tlumič HB-15-100-DD-M	45
Obr. č. 35 Náklon MR v 5-ti polohách.....	46
Obr. č. 36 Náčrt definování parametrů pro výpočet tlumič síly	48
Obr. č. 37 Krytování rámu.....	51
Obr. č. 38 Miniaturní vysílač	52
Obr. č. 39 Kompas CMPS03	53
Obr. č. 40 Převodník USB2IC	53
Obr. č. 41 Schéma elektrického zapojení.....	55

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 Hodnoty kritérií vah.....	21
Tab. č. 2 Hodnotová analýza variant.....	23
Tab. č. 3 Parametry pohonu „hlavy“	28
Tab. č. 4 Základní parametry malého ozubeného kola	30
Tab. č. 5 Základní parametry velkého ozubeného kola.....	32
Tab. č. 6 Parametry pohonu vertikální rotace.....	35
Tab. č. 7 Přehled zapojení pro přenos signálu	37
Tab. č. 8 Přehled zrychlení a rychlostí při náklonu MR	46
Tab. č. 9 Průběh tlumicí síly.....	50

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 Grafické zobrazení průběhu akcelerace při náklonu MR	46
----------------------------------------------------------------	----

SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava MH:	SAB045-000
Sestava hlavy:	SAB045-001
Sestava úchytu hlavy:	SAB045-002
Sestava vahadla:	SAB045-003
Sestava rámu:	SAB045-004

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha I. Tabulky pro porovnávání v trojúhelníku párů
- Příloha II. Parametry materiálu ABS
- Příloha III. Technické parametry kamery EQ2700
- Příloha IV. Technické parametry kamery DFK 31AF03
- Příloha V. Výpočet jehlových ložisek

Příloha I. Tabulky pro porovnávání v trojúhelníku párů

Kritérium	Název kritéria	Popis kritéria
K1	Počet pohonů	Počet rotačních a translačních pohybu a k nim přidružené pohony
K2	Energetická zátěž	Použité zařízení a jejich energetická zátěž během provozu
K3	Přesnost	Dosažení přesnosti polohování jednotlivých dílů
K4	Konstrukce	Složitost konstrukce a jeho počet hlavních komponentů
K5	Cenová rozvaha	Relativní posouzení výrobních nákladů hlavních prvků konstrukce

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb	pořadí	Váha významnosti q
K1	K1	K1	K1	3	4	1,4
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	4,5	1	1,7
	K3	K4	K5			
	K3	K3		2	5	1,2
	K4	K5				
	K4			2,5	3	1,3
	K5			3	2	1,4

Vypracoval : Šablatura Jiří, Bc.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb	pořadí	Váha významnosti q
K1	K1	K1	K1	2,5	3÷4	1,3
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	3	2	1,4
	K3	K4	K5			
	K3	K3		2	5	1,2
	K4	K5				
	K4			5	1	1,8
	K5			2,5	3÷4	1,3

Vypracoval : Smetánka Jindřich, Bc.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb	pořadí	Váha významností q
K1	K1	K1	K1	3	2÷3	1,4
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	3	2÷3	1,4
	K3	K4	K5			
		K3	K3	2,5	4	1,3
		K4	K5			
			K4	4,5	1	1,7
			K5	2	5	1,2

Vypracoval : Horák Jan, Bc.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb	pořadí	Váha významností q
K1	K1	K1	K1	1,5		1,1
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	2		1,2
	K3	K4	K5			
		K3	K3	5		1,8
		K4	K5			
			K4	4		1,6
			K5	2,5		1,3

Vypracoval : Kárník Ladislav, Ing. CsC.

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb	pořadí	Váha významností q
K1	K1	K1	K1	4		1,6
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	4		1,6
	K3	K4	K5			
		K3	K3	1,5		1,1
		K4	K5			
			K4	3,5		1,5
			K5	2		1,2

Vypracoval : Valtová Barbora, Bc.

Příloha II. Parametry materiálu ABS

Acrylonitril/Butadien/Styren (ABS)

Hustota	ISO 1183	1,04	g/cm ³
Mechanické vlastnosti			
Napětí na mezi kluzu	ISO 527	45	MPa
Tažnost	ISO 527	10	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2300	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	90	MPa
Norma pro Tvrdost podle Brinella		H358/30	
Tvrdost Shore (A/D) nebo Rockwell (R/L/M)	ISO 868, ISO 2039-2	R104	-
Charpy-vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 179/1eA	22	KJ/m ²
Elektrické vlastnosti			
Permitivita při 50 Hz	IEC 60250	2,9	-
Permitivita při 1 MHz	IEC 60250	2,8	-
Dielektrický faktor ztrát při 50 Hz	IEC 60250	48	1E-4
Dielektrický faktor ztrát při 1 MHz	IEC 60250	79	1E-4
Průrazová pevnost	IEC 60243-1	41	kV/mm
Síla pro průrazovou pevnost		1	mm
Specifický průrazový odpor	IEC 60093	1,00E+13	Ohm · m
Povrchový odpor	IEC 60093	1,00E+13	Ohm
Odolnost vůči plazivým proudům CTI	IEC 60112	600	-
Teplotní vlastnosti			
Tepelná vodivost	DIN 52 612	0,17	W/K m
Koeficient délkové roztažnosti příčný	ISO 11359	95	10 ⁻⁶ /K
Teplota tavení popř. zesklivatění	ISO 11357	110	°C
Tvarová stálost za tepla A	ISO 75 HDT/A (1,8 MPa)	80	°C
Tvarová stálost za tepla B	ISO 75 HDT/B (0,45 MPa)	92	°C
max. teplota krátkodobá		100	°C
max. teplota dlouhodobá		95 ⁵⁾	°C
min. teplota použití		-30	°C
Jiné vlastnosti			
Nasákavost při norm. podmínkách	ISO 62	0,22	%
Nasákavost při vlhkosti	ISO 62	1	%
Chování při hoření podle UL 94		HB	-
Síla pro UL 94		0,8	mm
Průsvitnost (průhledný/průsvitný/průhledný)		průhledný	
Surovina		Terluran GP22 (BASF)	
⁵⁾ : tepelné stárnutí podle UL 746 (RTI) Mech. W/O Imp., 40 000 hod.			
Tento datový list RIWETA 4.1 je určen pro Vaši osobní potřebu. V těchto datech jsou udány hodnoty.			

Příloha III. Technické parametry kamery EQ2700

Signál systém:	PAL
Snímací systém:	2:1 prokládaný
Snímací frekvence (H):	15.625 KHz
Snímací frekvence (V):	50 Hz
Senzor:	1/4" CCD
Úplné rozlišení v pixelech:	795 (H) x 596 (V), 470K
Efektivní rozlišení v pixelech:	752 (H) x 582 (V), 440K
Odstup signál/šum:	nad 48 dB
Rozlišení:	více než 450 TV řádků
Objektiv:	asférický 27 x zoom $f = 3,25 \sim 88,0\text{mm}$, F 1.5 (W), F 3.8 (T) Video AF
Minimální AF vzdálenost:	WIDE 0,01 m, TELE 1,0 m
Minimální osvětlení:	1 lux (30IRE), AGC zap., 0,01 lux s DSS, 0,05 lux noční režim
Digitální zoom:	10 x (max.zoom x270)
Synchronizace:	interní
Elektronická závěrka:	1:50 ~ 1:10.000
Video výstup:	1 Vp-p kompozitní PAL, BNC, S-video mini DIN
Ovládání kamery:	vestavěné, DC ovládání, RS-232, vzdálenou klávesnicí
Rychlost zoom:	3 sek.
Zoom/ostření:	preset 64
Zoom módy:	manuální, automatické
Napájení:	9 ~ 15 V DC

Příkon:	5,3 W max.
Pracovní teplota:	0°C ~ +45°C
Vlhkost:	0% RH ~ 60% RH
Rozměry:	57 (Š) x 62,4 (V) x 97,5 (H) mm
Váha:	330 g

Příloha IV. Technické parametry kamery DFK 31AF03

Obecné vlastnosti:

Video formáty: 1024 x 768 YUV (2:2:2) @ 15, 7.5, 3.75 fps

1024 x 768 YUV (2:2:2) @ 15, 7.5, 3.75 fps

1024 x 768 Y Mono @ 30, 15, 7.5, 3.75 fps

1024 x 768 @ Y Mono 30, 15, 7.5, 3.75 fps

Citlivost: 0,5 lx při 1/15s, zisk 20 dB

Dynamický rozsah: ADC: 10 bit, výstup: 8 bitů

SNR: ADC: 9 při 25 ° C, získávají 0 dB

Interface (optický):

Senzorové specifikace: ICX204AK [PDF] ICX204AK [PDF]

Type: Progressive Scan

Formát: 1 / 3 "CCD

Rozlišení: H: 1024, V: 768 H: 1024, V: 768

Velikost pixelu: H: 4.65 µm, V: 4.65 µm H: 4,65 µm, V: 4,65 µm

Ohnisková vzdálenost: 5 mm (širokoúhlý)

F-Stop (širokoúhlý) 1,6

MOD (širokoúhlý) 25 cm

Ohnisková vzdálenost (tele): 45 mm

F-Stop (tele): 3,7

MOD (tele): 35 cm

Focus: auto / man

Iris: auto / man

Interface elektrický:

Napájecí napětí	8 - 30 VDC
Aktuální spotřeba	cca 200 mA při 12 VDC

Interface mechanický:

Rozměry	H: 50,6 mm, W: 50,6 mm, L: 130 mm
Hmotnost:	380 g

Úpravy:

Závěrka:	1 / 10, 000 - 30 s
Zisk	0 - 36 dB
Offset:	0 - 511
Sytost:	0 - 200%
Vyvážení bílé:	-2 DB až +6 dB

Automatické úpravy:

Závěrka:	1 / 10, 000 - 30 s
Zisk:	0 - 36 dB
Offset:	0 - 511
Vyvážení bílé:	-2 DB až +6 dB

Životního prostředí:

Max. teplota (provoz):	-5 ° C až 45 ° C
Max.teplota (skladování):	-20 ° C až 60 ° C
Max. vlhkost (provoz):	80%
Max. vlhkost (skladování):	95 %

Příloha V. Výpočet jehlových ložisek

Výpočet jehlového ložiska AXK 6085

1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Volba typu ložiska, zatížení ložiska								
1.1 Jednotky výpočtu		SI Units (N, mm, kW...)						
1.2 Typ ložiska		Axiální jehlová ložiska						
1.7 Zatížení ložiska		Proměnlivé zatížení						
1.8 Otáčky	n	30,0	[/min]					
1.9 Radiální zatížení	Fr	0,0	[N]					
1.10 Axiální zatížení	Fa	22,4	[N]					
1.11 Součinitel přidavných dynamických sil		1						
1.12 Požadované parametry ložiska								
1.13 Trvanlivost ložiska	Lh	10000	[h]					
1.14 Součinitel statické bezpečnosti	s0	2,00						
1.3 Provedení ložiska								
1.4 Kroužek 1 - žádný								
1.5 Kroužek 2 - žádný								
1.6								
1.15 Přídavné dynamické síly								
1.16 <input checked="" type="radio"/> Žádné								
1.17 <input type="radio"/> Od ozubených převodů								
1.18 Běžná ozubená kola (úchytky tvaru a rozteče 0.02 až 0.1 mm)								
1.19 Součinitel	fk	1,1 - 1,3	1,20					
1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory								
1.21 Součinitel	fd	1 - 1,2	1,10					
1.22 <input type="radio"/> Od řemenových převodů								
1.23 Klínové řemeny								
1.24 Součinitel	fb	1,9 - 2,5	2,20					
2.0 <input checked="" type="checkbox"/> Volba rozměrů ložiska								
2.1 Rozměry ložiska								
Vyhledat Hledat další								
ID	d	D	Dw	C	CO	nr	nmax	Ložisko
17	60,0	85,0	3,0	37500	232000	2200	4300	AXK 6085 [A5 6085, L5 6085, W5 81112, G5 81112]
2.2 Parametry ložiska								
2.3 Základní dynamická únosnost	C	37500	[N]	d	60			
2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení	P	22,4	[N]	D	85			
2.5 Základní trvanlivost	L10h	3,09508E+13	[h]	Dw	3			
2.6 Základní statická únosnost	CO	232000	[N]	B1	1			
2.7 Statické ekvivalentní zatížení	PO	22,4	[N]	B2	5			
2.8 Součinitel statické bezpečnosti	s0	10357,14		B3	5			
2.9 Dovolené radiální zatížení	Frmax	0	[N]	D1	62			
2.10 Dovolené axiální zatížení	Famax	-	[N]	d1	85			
2.11 Referenční otáčky	nr	2200	[/min]					
2.12 Mezní otáčky	nmax	4300	[/min]					
2.13 Ztrátový výkon	NR	0,01	[W]					
2.14 Váha ložiska	g	0,033	[kg]					
3.0 <input checked="" type="checkbox"/> Provozní parametry, modifikovaná trvanlivost ložiska								
3.1 Kinematická viskozita maziva				3.7 Výpočet modifikované trvanlivosti				
3.2 Vztažná viskozita	V1	289	[mm^2/s]	3.8 Mezní únavové zatížení	Pu	28500	[N]	
3.3 Provozní viskozita	V	20,1	[mm^2/s]	3.9 Požadovaná spolehlivost		90 %		
3.4 Viskozní poměr	K	0,07		3.10 Znečištění maziva		Typické znečištění		
3.5 Požadované minimální zatížení				3.11 Součinitel úrovně znečištění	η	0,3 - 0,1	0,20	<input checked="" type="checkbox"/>
3.6 Minimální axiální zatížení	Famin	116	[N]	3.12 Součinitel trvanlivosti	a1/a23	1	0,1	
				3.13 Modifikovaná trvanlivost	Lmh	3,09508E+12	[h]	

Minimální axiální zatížení (bod 3.6) je závazné pro vysoké otáčky a to z důvodu, aby docházelo ke správnému odvalování elementů ložiska

Výpočet jehlového ložiska NK60/25

1.0 ☒ Volba typu ložiska, zatížení ložiska

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Typ ložiska

Jehlová ložiska bez vnitřního kroužku

1.7 Zatížení ložiska

Proměnlivé zatížení

1.8 Otáčky n 30,0 [/min]

1.9 Radiální zatížení Fr 15,9 [N]

1.10 Axiální zatížení Fa 0,0 [N]

1.11 Součinitel přidavných dynamických sil 1

1.12 Požadované parametry ložiska

1.13 Trvanlivost ložiska Lh 10000 [h]

1.14 Součinitel statické bezpečnosti s0 2,00

1.3 Provedení ložiska

1.4 S vodicími přírubami, Otevřené provedení

1.5

1.6

1.15 Přídavné dynamické síly

1.16 ☒ Žádné

1.17 ☐ Od ozubených převodů

1.18 Běžná ozubená kola (úchytky tvaru a rozteče 0.02 až 0.1 mm)

1.19 Součinitel fk 1,1 - 1,3 1,20 ☒

1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory

1.21 Součinitel fd 1 - 1,2 1,10 ☒

1.22 ☐ Od řemenových převodů

1.23 Klinové řemeny

1.24 Součinitel fb 1,9 - 2,5 2,20 ☒

2.0 ☒ Volba rozměrů ložiska

2.1 Rozměry ložiska

Vyhledat Hledat další

ID	d	D	B	C	C0	nr	nmax	Ložisko
106	60,0	72,0	25,0	41800	96500	6700	7500	NK 60/25

2.2 Parametry ložiska

2.3 Základní dynamická únosnost C 41800 [N]

2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení P 15,9 [N]

2.5 Základní trvanlivost L10h 1,39313E+14 [h]

2.6 Základní statická únosnost C0 96500 [N]

2.7 Statické ekvivalentní zatížení P0 15,9 [N]

2.8 Součinitel statické bezpečnosti s0 6069,18

2.9 Dovolené radiální zatížení Frmax - [N]

2.10 Dovolené axiální zatížení Famax 0 [N]

2.11 Referenční otáčky nr 6700 [/min]

2.12 Mezní otáčky nmax 7500 [/min]

2.13 Ztrátový výkon NR 0 [W]

2.14 Váha ložiska g 0,19 [kg]

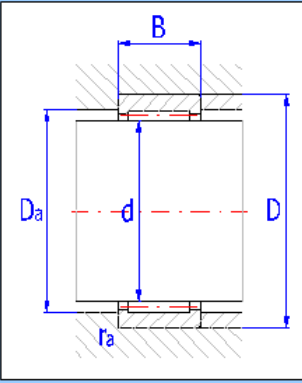
d 60

D 72

B 25

ramax 0,6

Damax 68



3.0 ☒ Provozní parametry, modifikovaná trvanlivost ložiska

3.1 Kinematická viskozita maziva

3.2 Vztažná viskozita v1 303 [mm^2/s]

3.3 Provozní viskozita v 20,1 [mm^2/s]

3.4 Viskozní poměr k 0,07

3.5 Požadované minimální zatížení

3.6 Minimální radiální zatížení Frmin 836 [N]

3.7 Výpočet modifikované trvanlivosti

3.8 Mezní únavové zatížení Pu 12200 [N]

3.9 Požadovaná spolehlivost 90 %

3.10 Znečištění maziva Typické znečištění

3.11 Součinitel úrovně znečištění η 0,3 - 0,1 0,20 ☒

3.12 Součinitel trvanlivosti a1/a23 1 0,1

3.13 Modifikovaná trvanlivost Lmh 1,39313E+13 [h]

Výpočet ložiska 6000 ČSN 024630

1.0 ☒ Volba typu ložiska, zatížení ložiska

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Typ ložiska

Kuličková ložiska jednořadá

1.7 Zatížení ložiska

Proměnlivé zatížení

1.8 Otáčky n 30,0 [/min]

1.9 Radiální zatížení Fr 12,9 [N]

1.10 Axiální zatížení Fa 4,5 [N]

1.11 Součinitel přidavných dynamických sil 1,32

1.12 Požadované parametry ložiska

1.13 Trvanlivost ložiska Lh 10000 [h]

1.14 Součinitel statické bezpečnosti s0 2,00

1.3 Provedení ložiska

1.4 Otevřené provedení

1.5 Samostatné ložisko

1.6 Normální ložisková vůle

1.15 Přídavné dynamické síly

1.16 Žádné

1.17 Od ozubených převodů

1.18 Běžná ozubená kola (úchytky tvaru a rozteče 0.02 až 0.1 mm)

1.19 Součinitel fk 1,1 - 1,3 1,20

1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory

1.21 Součinitel fd 1 - 1,2 1,10

1.22 Od řemenových převodů

1.23 Klinové řemeny

1.24 Součinitel fb 1,9 - 2,5 2,20

2.0 ☒ Volba rozměrů ložiska

2.1 Rozměry ložiska

Vyhledat Hledat další

ID	d	D	B	C	C0	nr	nmax	Ložisko
28	10,0	26,0	8,0	4750	1960	67000	40000	6000 *

2.2 Parametry ložiska

2.3 Základní dynamická únosnost C 4750 [N]

2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení P 23,3 [N]

2.5 Základní trvanlivost L10h 4706960575 [h]

2.6 Základní statická únosnost C0 1960 [N]

2.7 Statické ekvivalentní zatížení P0 17 [N]

2.8 Součinitel statické bezpečnosti s0 115,29

2.9 Dovolené radiální zatížení Frmax - [N]

2.10 Dovolené axiální zatížení Fa max - [N]

2.11 Referenční otáčky nr 67000 [/min]

2.12 Mezní otáčky nmax 40000 [/min]

2.13 Ztrátový výkon NR 0 [W]

2.14 Váha ložiska g 0,019 [kg]

d 10

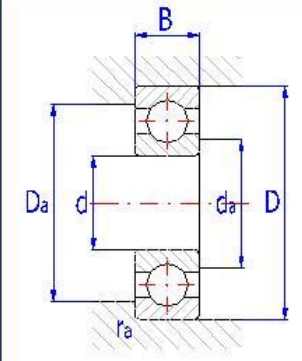
D 26

B 8

ramax 0,3

Damax 24

damin 12



3.0 ☒ Provozní parametry, modifikovaná trvanlivost ložiska

3.1 Kinematická viskozita maziva

3.2 Vztažná viskozita v1 590 [mm^2/s]

3.3 Provozní viskozita v 20,1 [mm^2/s]

3.4 Viskozní poměr K 0,03

3.5 Požadované minimální zatížení

3.6 Minimální radiální zatížení Frmin 0,58 [N]

3.7 Výpočet modifikované trvanlivosti

3.8 Mezní únavové zatížení Pu 83 [N]

3.9 Požadovaná spolehlivost 90 %

3.10 Znečištění maziva Typické znečištění

3.11 Součinitel úrovně znečištění η 0,3 - 0,1 0,20

3.12 Součinitel trvanlivosti a1/a23 1 0,1

3.13 Modifikovaná trvanlivost Lmh 470696058 [h]